





SECRETARIA DE FOMENTO, COLONIZACION É INDUSTRIA.

BOLETÍN

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO

NUM. 15.

LAS RHYOLITAS DE MEXICO

SEGUNDA PARTE



MEXICO
OFICINA TIP. DE LA SECRETARIA DE FOMENTO
Calle de San Andrés número 15.
1901



BOLETIN

DEL

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

Núm. 1.—Fauna Fósil de la Sierra de Catorce, por A. del Castillo y J. G. Aguilera.—1895—56 pp., 24 lám.

Núm. 2.—Las Rocas Eruptivas del S.O. de la Cuenca de México, por E. Ordóñez.—1895—46 pp., 1 lám.

Núm. 3.—La Geografía Física y la Geología de la Península de Yucatán, por C. Sapper.—1896—58 pp., 6 lám.

Núms. 4, 5 y 6.—Bosquejo Geológico de México.—1897—272 pp. 5 lám.

Núms. 7, 8 y 9.—El Mineral de Pachuca.—1897—184 pp., 14 lám.

Núm. 10.—Bibliografía Geológica y Minera de la República Mexicana por R. Aguilar y Santillán.—1898.—158 pp.

Núm. 11.—Catálogos sistemático y geográfico de las especies mineralógicas de la República Mexicana, por José G. Aguilera.—1898.—158 pp.

Núm. 12.—El Real del Monte, por E. Ordóñez y M. Rangel.—1899.—108 pp., 26 lám.

Núm. 13.—Geología de los alrededores de Orizaba, con un perfil de la vertiente oriental de la Mesa Central de México, por Emilio Böse.—1899.—54 pp. 3 lám.

Núm. 14.—Las Rhyolitas de México (Primera parte), por E. Ordóñez.—1900.—78 pp. 6 lám.

Núm. 15.—Las Rhyolitas de México (Segunda parte), por E. Ordoñez.—1901.—78 pp. 6 lám.

EN PREPARACION:

Núm. 16.—El carbón de piedra en México.

Carta Geológica detallada de la República Mexicana.

ESCALA DE 1:100,000.

HOJA N. 1: ZUMPANGO.—HOJA N. 2: PUEBLA.—HOJA N. 3: MEXICO. HOJA N. 4: APAM.
HOJA N. 5: ORIZABA.—HOJA N. 6: TEHUACAN.

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO.

Director, José G. Aguilera.

LAS
RHYOLITAS DE MÉXICO

SEGUNDA PARTE

DESCRIPCIÓN SISTEMÁTICA DE LAS RHYOLITAS

POR

EZEQUIEL ORDÓÑEZ

NÚMERO 15.



MEXICO
OFICINA TIP. DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO
Calle de San Andrés, núm 15. (Avenida Oriente, 51

1901

INTRODUCCIÓN.

Con los numerosos trabajos descriptivos que sobre el grupo de rocas volcánicas silizosas se han venido publicando desde hace más de cuarenta años, se han dado ya á conocer, con acopio de numerosos ejemplares de regiones rhyolíticas típicas del mundo, casi todas las variedades de aspecto y estructura de este complexo grupo de rocas; de tal modo que, exhaustos casi, por decirlo así, los trabajos de orden descriptivo, queda solamente abierto el campo para especulaciones de orden más elevado, tales como el estudio de las causas que, obrando en determinados momentos en el magma de donde proceden estas rocas, pueden producir tal ó cual modificación del tipo de estructura; el estudio del desarrollo cristalino más ó menos avanzado intratelúrico; la distribución en la masa de cristales y partículas que á título de impurezas allí se encuentran; las influencias muy marcadas que en estas rocas determinan los gases y vapores acompañantes de las erupciones antes y después del paso de estas lavas al estado sólido; y por último, las acciones posteriores á su enfriamiento y largo tiempo después de su erupción, por fuerzas que le son totalmente independientes.

Pero casi agotada como está la novedad en los estudios de índole meramente descriptiva de las rhyolitas, creemos que un trabajo más de esta especie no carece de interés, máxime cuando la descripción se hace sobre individuos que proceden de un espacio muy considerable de México, como ya se ha dicho y descrito á grandes rasgos en la Primera Parte y como lo enseña nuestra carta de distribución, á la que nos referiremos constantemente en el curso de esta segunda Memoria.

Para evitar repeticiones que juzgamos inútiles si emprendiésemos la descripción microscópica de las rocas por regiones, nos parece más conveniente agrupar y estudiar conjuntamente todas aquellas variedades que presentan caracteres iguales ó semejantes cualquiera que sea su procedencia, aunque este medio tenga la desventaja de no dar idea clara de las distintas variedades que existen en cada área rhyolítica independiente, ni de cómo se pasa de

una á otra variante por insensible gradación, como es el caso general. La dificultad se subsana hasta donde es posible, adaptando nuestra descripción á la secuela de los cambios que naturalmente se producen.

Es la estructura del magma de última consolidación el punto capital de nuestra descripción sistemática de las rhyolitas, porque es lo que muestra las diferencias más características y por estar en cantidad, por regla general, predominante. Sobre una composición química ya definida, los elementos primarios son menos importantes porque tienen las más veces caracteres comunes, y ya hemos visto que sólo por la cantidad pueden tomarse como base de una división.

Muy pocas líneas consagramos al grupo de las nevaditas que no tienen en México claros representantes. En la descripción de las rhyolitas propiamente dichas, comenzamos por aquellas que tienen un magma que se aproxima á un desarrollo holocristalino, para seguir con aquellas de magma que decrece en cristalinidad pero siempre mostrando individualidad las partes polarizantes que lo forman y que llegan por insensible gradación hasta el magma criptocristalino, en donde tal deslimitación desaparece y en donde toma nacimiento, con más frecuencia, la característica estructura esferolítica, fecunda en estados progresivos y que mide las fuerzas de la cristalización.

Se señalan por vía de complemento, las particularidades de algunos fenocristales y los minerales accesorios que suelen contener estas rocas.

La última parte de la descripción se consagra á los vidrios de rhyolitas, es decir, á las retinitas y á las obsidianas, y á los productos detríticos de las erupciones, las brechas y las tobas.

Las alteraciones secundarias de las rhyolitas, tales como la kaolinización, la silicificación, etc., son muy interesantes en las regiones rhyolíticas vecinas de los criaderos minerales, por lo que les dedicamos especialmente algunas líneas.

Los números entre paréntesis incluídos en el texto, sirven para encontrar en la carta que va al fin de la Primera Parte (Boletín núm. 14) la localidad aproximada de donde procede el ejemplar de la roca que se describe. La pequeñez de esa carta nos impide marcar exactamente cada lugar. Entiéndase bien que los números sólo indican regiones muy extensas rhyolíticas sin precisar un sitio determinado.

Nevaditas.

En las páginas 11 y siguientes de la primera parte de este libro, hemos mencionado las divisiones principales de las rhyolitas y hemos colocado en primer término á las nevaditas con las variedades definidas por Rosenbusch (felsonevaditas y hialonevaditas). Hemos dicho también que estos tipos no tienen en el país claros representantes, y que al conservar dichos nombres en nuestras subdivisiones, es simplemente por cuestión de método y con la esperanza de poseer más tarde buenos ejemplares, pues estamos lejos de haber recorrido en toda su extensión la inmensa área rhyolítica de México.

Aunque suficiente como es la descripción de Wh. Cross[1] de la hermosa nevadita de Chalk Mt. ó la de la roca dacítica de Lassen Pick, llamada primeramente nevadita, hemos preferido para comparación, el estudio directo sobre ejemplares de esas localidades, los que hemos obtenido por bondadosa donación del Museo Nacional de Washington. Es verdad que en apariencia exterior, principalmente la roca de Lassen Pick, son muchas las semejanzas con algunas de nuestras rocas, pero el microscopio revela siempre la predominancia de un magma de segunda consolidación; ó las proporciones son tan iguales entre éste y los cristales primarios, que es difícil muchas veces la precisa correlación. Esto nos pasa frecuentemente con muchas rhyolitas de la Mesa Central, de escaso magma, incompletamente cristalino, y que de referirse esas rocas á la primera división, se podrían titular felsonevaditas. Tales serían, por ejemplo, ciertas rocas de las montañas inmediatas á San Luis Potosí (10), de colores gris y pardo claro, usadas ahora como material de construcción; una roca pardo clara con grandes y pequeños cristales de cuarzo, y de sanidino de lustre satinado, de cerca de Jerécuaro (8), en el Estado de Guanajuato; la rhyolita rosada con muchos cristales de cuarzo ahumado de la Sierra del Carmen, en el Oro (17) (Durango). Aquí también cabrían, una rhyolita muy porfiroide, que en pequeñas áreas se encuentra en el cerro de Mercado (ciudad de Durango) que, aunque muy obscura de color, muestra

1 Wh. Cross.—Petrography of the Leadville region. Monog. XII. U. S. Geol. Survey 1886.

numerosos sanidinos con reflejo azul; y por último, algunas rhyolitas del cerro del Aguila en el Real del Monte (2), que ya recibieron el nombre de felsonevaditas en nuestro Boletín núm. 12, aunque abundan allá las rhyolitas propiamente dichas y las dacitas.

También pudieran ser felsonevaditas algunas rocas del cerro Grande, en el mineral de Pozos (8), Estado de Guanajuato, en donde podemos ver asimismo rocas muy cargadas de cuarzo y sanidino en un magma vitreo escaso, por lo tanto parecidas á las hialonevaditas.

En la Sierra Madre occidental tenemos algunas felsonevaditas como las de la Sierra de la Parida, entre el Estado de Zacatecas y el Territorio de Tepic. Son de color rosa claro, y más cargadas de cuarzo que de sanidino. Muy interesante nos parece una hialonevadita blanca muy cargada de cristales blancos de feldespato y de cristales prismáticos de hornblenda, procedente de Metatitos, Tohayana (20), Morelos (Distrito de Mina, Chihuahua), notable porque el escaso magma vitreo perlítico que no es común, tenga en apariencia un color tan claro, muestra además, en las láminas delgadas una curiosa textura escamosa. Los feldespatos hasta de un centímetro de longitud, son principalmente de sanidino, de aspecto muy vitreo; hay también algunos cristales de plagioclasa probablemente de andesina en repetidos macles de la albita y de Carlsbad combinados. La hornblenda en grandes cristales es muy fresca y muy pleocroica, así como la biotita que accidentalmente se encuentra.

Entre la gran variedad de rocas eruptivas; granitos, dioritas, andesitas y rhyolitas, en los tajos profundos del río de Santiago, en su trayecto por el Territorio de Tepic, especialmente en la jurisdicción de Ahuacatlán, suelen hallarse unas rocas de aspecto dudoso, grises ó azuladas, con muchos cristales blancos de feldespato ortoclasa sin el lustre vítreo del sanidino, y grandes playas de cuarzo, en un magma holocristalino, propiamente micrográmitico, compuesto de cuarzo y feldespato. Es difícil relacionar esta roca con algunos de los tipos allí bien definidos, el granito ó las rhyolitas, pero las colocamos provisionalmente al lado de las rhyolitas porque en varias partes aquellas rocas contienen como las rhyolitas, grandes esferolitas, de cuya descripción nos ocuparemos más adelante.

Si es indudable que en aquella región existe una variedad de rhyolitas holocristalinas, la abundancia de cristales primarios en algunas de ellas, como ya dijimos, casi nos obliga, aunque con reserva, á considerarlas como nevaditas.

Ponemos en seguida los números que dan las cantidades de SiO^2, Na^2O y K^2O de las llamadas felsonevaditas; el núm. I de la del cerro del Aguila, el núm. II de la de la Sierra de la Parida.[1]

	I	II
SiO^2	70.74	72.20
K^2O	2.24	4.40
Na^2O	3.50	3.18

1 Laboratorio de química del Instituto Geológico. J. de D. Villarello.

Rhyolitas propiamente dichas.

Rhyolitas holocristalinas.

Las rhyolitas que tienen un magma parecido al de las nevaditas, por el desarrollo cristalino, son bastante raras en México, como son también raras en regiones extranjeras de rhyolitas. El caso quizá más importante que podemos señalar es el de las rocas procedentes de las colinas inmediatas á la Sierra de los Reyes, unos cuantos kilómetros al Sur de la ciudad de Jiménez, cabecera del Distrito del mismo nombre, del Estado de Chihuahua (19). Tales rocas, de color gris amarillento y rojizo, compactas, se abren paso al través de calizas cretáceas y se hallan próximas á los macizos de granulitas porfiroides de feldespato rosado terciarias, en contacto también con las calizas mencionadas.

Las rhyolitas á que nos referimos, microscópicamente se distinguen por un magma compuesto de una asociación alotrimorfa de feldespato, probablemente sanidino, y de cuarzo. El feldespato, aunque en secciones de forma irregular, algunas muestran la sinuosa línea de unión y el diferente alumbramiento de los dos individuos del macle de Carlsbad. Las secciones no se muestran enteramente límpidas, pues contienen numerosas partículas opacas que se confunden con los poros de gas y cavidades pequeñas, las que igualmente tiene en abundancia el cuarzo.

El cuarzo viene también como mineral primario en esta roca, en secciones arredondeadas, con innumerables poros con cavidades de corrosión y algunas inclusiones vitreas de forma rectangular con burbuja de gas en su interior. Los cristales primarios de sanidino son muy raros.

El estado holocristalino del magma no es homogéneo; en unas partes las secciones componentes son más grandes que en otras y disminuyen en tamaño de tal modo que se reducen á muy finas partículas alumbradas formando un tapiz microcristalino, en partes con un residuo mínimo de materia amorfa que cubre solamente muy pequeños intersticios. Algunas lagunas están llenadas con cuarzo de cristalización idiomorfa, sin que pueda asegurarse que

sea de origen secundario. La mica no se encuentra en las preparaciones, ni el fierro negro, y no hemos podido descubrir ningún mineral accesorio. Tiene parecido esta roca con la de Pinto Peak, del Distrito de Eureka, descrita por Iddings,[1] tanto por la rareza de minerales accesorios, como por el estado cristalino del magma y la existencia de numerosos poros de gas en el feldespato visibles en las láminas á la luz natural.

Zirkel,[2] en su monografía de las rocas del paralelo 40 menciona también varias rhyolitas de magma cristalino granular, principalmente la de Astor Pass, en la proximidad de Pyramid Lake; la del extremo Norte de las montañas de Kamma; la de Wa-we-ah y la de White Rock, Cedar Mountains.

En otras rhyolitas de esta clase, el desarrollo cristalino es aún más desigual. Láminas de cuarzo y feldespato en asociación alotrimorfa se aislan en un fino tapiz de magma microcristalino.

Tal es el caso para algunas rhyolitas procedentes del Distrito minero del Zopilote (15), en el Territorio de Tepic. Estas rocas de color pardo rojizo y compactas, traen á veces enclavados numerosos fragmentos de las rocas andesíticas sobre las que han escurrido ó que han atravesado en la forma de diques. Es indudable, á juzgar por ciertas alteraciones, que el desarrollo microcristalino del magma, depende de acciones dinámicas importantes, que determinaron en esta región, la formación de la red de fracturas posteriormente mineralizadas.

En el magma esencialmente microcristalino de la roca del Zopilote, algo se nota el escurrimiento fluidal, por la ordenación en regueros, de numerosas partículas ó granulaciones opacas y de óxidos de fierro; estas últimas en cantidad bastante para dar á la roca el tinte parduzco dominante. De las partes alumbradas del magma con contornos claros, unas son de cuarzo, otras son de feldespato y no hay otra segregación á más de éstas, que granulaciones y agujas rojizas ó negras que proceden de la desintegración de un mineral primario reabsorbido, que mal conservadas secciones dan los contornos de la hornblenda. Los fenocristales están también alterados y son de una plagioclasa en macles sucesivos. Cerca de los contornos de cada cristal existen partes más cristalinas que el magma, pero semejantes á él por la separación de playitas de cuarzo y feldespato. Igual alteración se observa á veces en el interior de los cristales pero dejando intersticios que están llenos de calcita y de sericita ó partes no descompuestas del feldespato original. Es probable que las secciones sin macle sean de sanidino. La tansformación de los cristales tiende á veces á dar partes desarrolladas granofíricamente, es decir, agrupaciones de playitas simultáneamente alumbradas ó extinguidas.

Rosenbusch[3] aduce pruebas, tales como la silicificación, la ordenación fluidal de las partículas del magma y los restos de materia amorfa que tienen

1 Microscopical Petrography of the eruptive rocks of the Eureka Dist. Nevada. J. P. Iddings, Monog. XX, 1892. U. S. Geol. Survey.

2 Geol. Exp. of the Fortieth Parallel.—Vol. VI, 1876.

3 Rosenbusch.—Mikroscopische Physiographie der Massigen Gesteine. Stuttgart, 1896.

las rhyolitas holocristalinas, que tienden á demostrar que este desarrollo cristalino y aun microcristalino de algunas de ellas, procede de acciones secundarias, entre otras, de fuerzas orogénicas obrando sobre rocas de magma vítreo ó microlítico. Esta aserción puede ser para nosotros en algunos casos verdadera, porque algunas rocas consideradas aquí como holocristalinas procedentes de regiones mineras, excluyen de sus magmas la segregación esferolítica, la que se produce con más ó menos frecuencia en el acto de la desvitrificación de un magma vítreo ó en partes microlítico, durante la segunda consolidación.

Muy parecida en lo tocante al aspecto y carácter del magma de la rhyolita antes mencionada, se encuentra una roca gris rosada en las canteras de rhyolitas esferolíticas de Cerezo, cerca de Pachuca (2), con sólo la diferencia que entre las partículas sin ningún indicio de ordenación fluidal, las partículas ferruginosas no existen, habiendo en cambio finísimas y muy numerosas secciones, algunas exagonales, de una biotita de color amarillo verdoso á la luz natural, y que dan amarillo á parduzco á la luz polarizada.

Entre los fenocristales, que no son muy abundantes, domina el cuarzo desprovisto de inclusiones; en menor cantidad el sanidino en pequeños cristales con algunos regueros de poros gaseosos; la biotita en láminas de color exactamente igual á la del magma, y raros cristales corroidos de andesina.

Es de notarse en las rocas anteriormente descritas, la ausencia completa de minerales accesorios, y para de una vez diremos que llama la atención la general pobreza ó rareza de los minerales accesorios en la mayoría de las rhyolitas mexicanas, quizá más raros que en las rocas silizosas neovolcánicas extranjeras. Sin embargo, entre algunas de las rhyolitas de la Sierra de Guanajuato (8) que ofrecen, por otra parte, mucha variedad de estructura, encontramos en la cima del cerro de Chichíndaro, arriba de rhyolitas muy esferolíticas, una de color blanco y compacta, que en su magma microcristalino se encuentran algunas diminutas agujas de apatita. Este mismo mineral se encuentra en muy finas agujas como inclusiones en cristales de sanidino, los únicos fenocristales, despedazados á veces, que tiene esta roca. En cuanto á su magma, á más de ser microcristalino, contiene lagunas granofíricas de cuarzo y feldespato. Una rhyolita rosada de Guadalcázar (S. L. P.) es tan semejante en el aspecto del magma á la roca de Chichíndaro, que sería ocioso repetir la descripción.

Rhyolitas de magma micro y criptocristalino.

Si el grado de cristalinidad del magma de las rhyolitas es el que nos viene sirviendo de base en nuestra descripción, es oportuno colocar á continuación aquellas rocas en cuyo magma no sólo existen partes bien cristalizadas y por lo tanto semejantes á las anteriores, sino también partes muy finas que muestran débil doble refracción y contornos vagos, lo que hace muy difícil precisar con claridad los individuos cristalinos que las forman. Un magma con

esa estructura se le designa como magma criptocristalino, el que no está exento de una pequeña cantidad de materia amorfa. Hay lugar igualmente aquí de indicar, que por regla general, el magma criptocristalino pasa, por insensible gradación, á una pasta de mucho más débil acción á la luz polarizada, y constituída, según la define Rosenbusch, de una substancia aparentemente isotrópica, pero en parte compuesta de partículas muy pequeñas alumbradas, más visibles cuando afectan las formas radiantes de las esferolitas. A este magma designado frecuentemente como *microfelsita*, término que hemos usado nosotros algunas veces, es conocido también por los autores franceses con el nombre de magma petrosilizoso.[1] Sobre su verdadera naturaleza y estructura hay en verdad diferencia de opiniones; algunos lo consideran como una pasta en parte amorfa con sílice individualizada (M. Levy). Para Rosenbusch[2] es una masa que tiene individualidad, es decir, un compuesto químico definido.

Nos permitimos aquí disentir de tan autorizadas opiniones y corroborar las hipótesis consignadas por Brögger y Teall[3] que han sido aceptadas por petrógrafos americanos como Iddings[4] y Cross,[5] para quienes la base llamada microfelsita no es más que un crecimiento simultáneo (intergrowth) submicroscópico de cuarzo y feldespato. Todos convienen en que esta masa suministra los elementos de las esferolitas, pues que es en su seno donde toman generalmente nacimiento, y aunque en las muy pequeñas segregaciones esféricas no es posible precisar su verdadera naturaleza, en las de mayores dimensiones ó en aquellas que han sufrido particulares modificaciones, alcanzan un grado mayor de desarrollo individual, y por eso más clara su estructura. Se puede reconocer entonces que hay de hecho frecuentemente la asociación de dos minerales principales: la sílice individualizada y el feldespato, cristalizados simultáneamente en muy variadas formas que han sido ya dadas á conocer, especialmente por Iddings.

Cuando se tiene á la vista un vasto material en donde percibir las varias y numerosas transiciones y observar los distintos grados de perfección en esta peculiar estructura, no hay lugar á vacilar en que la pasta que provee el material de las esferolitas y que llaman microfelsita, es una mezcla submicroscópica de cuarzo y feldespato en la que nunca falta un residuo de materia amorfa. Si bien es cierto que en esta masa no es posible distinguir con sus caracteres precisos cada uno de estos elementos, es simplemente por cuestión de pequeñez; y aún iríamos más lejos, suponiendo que es por efecto de las formas cristalinas que ellos toman de ordinario, pues que no dan secciones alargadas perceptibles como las que toman otros minerales en microlitas. El

1 M. Levy.—Estructures et clasification des roches éruptives, 1889.

2 Rosenbusch.—Mikroscopische Physiographie, etc.

3 Teall.—British Petrography, 1888.

4 J. P. Iddings.—Spherulitic crystalization.—Phil. Soc. of Washington, Vol. XI, 1891.

5 Wh. Cross.—Constitution and origin of spherulites.—Phil. Soc. of Washington, Vol. XI, 1891.

cuarzo microscópico se aparta poco de secciones circulares, el sanidino en microlitas da formas que se aproximan á cuadrados; y por qué no pensar que en sumo grado de pequeñez estos minerales vengan en formas irreconocibles segregados del seno de una pasta amorfa? Esta pasta, siempre cargada de impurezas en fina división, ponen obstáculos grandes al crecimiento individual de las partículas cristalizadas, á lo que contribuye también la no absoluta homogeneidad del magma que todos reconocen. Que condiciones particulares de este magma determinen un centro de cristalización como los que hacen nacer las esferolitas, y se verá que las partículas se interponen con alguna regularidad entre las partes cristalinas ó que repelidas en ciertas direcciones permiten que las dichas partes se asocien, dando individuos cristalinos mejor reconocibles, como en las esferolitas porosas ó como en las litofisas.

¿Qué puede ilustrar mejor la composición de un magma rhyolítico cuando está sobrecargado de sílice, que ciertas variedades de la estructura micropoikilítica?

Considerando desde luego las rhyolitas con magma holocristalino y con partes de magma criptocristalino, notaremos que tienen muy poco desarrollada la estructura fluidal y que son raras ó no existen las esferolitas.

Entre los buenos ejemplos mencionaremos una roca del cerro de Chichíndaro (8) relacionada con las rhyolitas casi holocristalinas que ya hemos citado antes y que vienen cerca de las rhyolitas esferolíticas que son allí las dominantes. Al microscopio y á la luz natural, el magma incoloro ó con partes ligeramente coloridas en amarillo, muestra finas puntuaciones opacas de óxido de fierro, secciones cuadradas de magnetita y raras microlitas aciculares de color parduzco y opacas. A la luz polarizada se ve que el magma en partes es un confuso agregado criptocristalino pero tiene también porciones de magma cristalino en el que es posible definir las secciones de cuarzo y feldespato que lo integran. Los espacios no ocupados por este magma están cubiertos por una pasta más obscura que viene realmente llenando los intersticios, y por gran cantidad de cuarzo secundario en secciones muy irregulares. En su origen esta roca parece haber retenido el producto de aguas de impregnación, que sólo tuvieron acceso en las partes menos compactas de su masa. Entre los elementos primarios domina el cuarzo, desprovisto de inclusiones, y de bordes corroídos; en menor cantidad el sanidino también límpido, y raros fragmentos de una plagioclasa.

Un magma semejante, aunque más uniforme, nos da una rhyolita gris clara de cerca de la mina de Cabrera, en la región de Real del Monte (2), cuyo color claro proviene de la ausencia de granulaciones opacas coloridas, viéndose sólo á la luz natural, granulaciones grises sin indicios de fluidalidad y finas laminitas de mica de color verde claro.

El cuarzo de primera consolidación es abundante y en secciones arredondeadas y corroídas, algunas de las cuales muestran regueros de cavidades gaseosas y un pequeño cristal que parece de apatita. Alrededor de una sección de cuarzo con penetraciones de magma en su interior, se ha formado una au-

réola de muy finas fibras radiantes y también partes de cristales macleados probablemente de sanidino, con cuarzo interpuesto. El sanidino poco abundante viene en secciones muy límpidas y parecidas á las de cuarzo en su tono gris de polarización, pero á veces en buenos macles de Carlsbad; por último, láminas de biotita de fuerte dicroismo completan la composición de la roca.

Un magma más criptocristalino pero sin ningún desarrollo esferolítico muestra una rhyolita del cerro del Nayal, cerca de Guanajuato (8), de color amarillo claro y con numerosas secciones de cuarzo y feldespato enclavadas. La opacita es muy abundante por la avanzada descomposición del feldespato de primera consolidación, pues cada sección de sanidino y algunas de plagioclasa, presentan en sus bordes una zona ancha turbia. La particularidad de esta roca consiste en la reacción muy fuerte del magma sobre los cristales de cuarzo, por esto desmembrados en sus bordes. Estos cristales de cuarzo tienen muchos poros de gas é inclusiones vítreas de forma cuadrada con burbujas de gas en su interior. A más de estos poros, se encuentran en las playas de cuarzo, inclusiones líquidas con burbuja móvil, lo que es raro en las rhyolitas. En muchas de las rhyolitas del paralelo 40, descritas por Zirkel,[1] el cuarzo primario ha mostrado con relativa abundancia las inclusiones vítreas y aun los poros de gas, pero las inclusiones líquidas y con burbuja móvil son tan raras, que sólo dos ejemplos muestra el autor aludido, únicos entre un vasto material; y para uno de ellos pone en duda la legitimidad del cuarzo como constituyente propio de la roca, suponiendo que este cuarzo esté sólo enclavado en la masa con fragmentos de otras rocas que también existen. El otro ejemplo, el de la roca de Hantz Peak en Elkhead Mountains, se aparta también un poco de la composición normal de las rhyolitas que él describe. Desde el estudio de Zirkel á la fecha, los ejemplos de cuarzo con inclusiones líquidas en las rhyolitas, han aumentado considerablemente, aunque el número de casos observados no sea tan grande para suponer que tales inclusiones son comunes en el cuarzo de estas rocas. Entre las rhyolitas mexicanas veremos adelante que se encuentran las inclusiones líquidas en cuarzos de algunas rhyolitas esferolíticas.

La rhyolita gris del río de Cardones, cerca de Guanajuato, es menos criptocristalina que la del Nayal; domina en ella el magma amorfo con numerosas partículas de cuarzo y feldespato y no manifiesta ni tendencias á la forma esferolítica; también el feldespato y el cuarzo en grandes partes granofíricas son menos abundantes que en las rocas anteriores; pero en cambio, los fenocristales son más numerosos; el cuarzo límpido sólo contiene algunos regueros de poros de gas, el sanidino viene en cristales pequeños, desgraciadamente alterados y con grietas rellenadas de kaolinita y sericita; la biotita es rara y alterada y el fierro negro sólo muy accidentalmente se encuentra en el magma. Como un hallazgo notable citaremos algunos cristales de apatita en el magma que, aunque muy pequeños, se ven en la forma de prismas con sus

1 Zirkel.—Microscop. Petrography.—Geol. Exp. 40th. Parallel.—V. 1876, págs. 197 y 201.

terminaciones piramidales características; el dicroismo relativamente sensible. Los cristalitos contienen en su medio muchas inclusiones vítreas.

Aquí cabe mencionar por su semejanza con la ya descrita, una rhyolita de Sultepec (7), de color gris claro, salpicada de cristales grises de cuarzo con sus formas piramidales y cristales de sanidino y pirita.

Rhyolitas de color blanco ó gris claro con muchos cristales de cuarzo primario, procedentes de la mina de Nevada, en Real del Monte, traen en el magma, parecido al anterior, pequeños cristales de jergón.

Rhyolitas grises claras procedentes de Curucupaceo (13), en el Estado de Michoacán, tienen un magma muy semejante, y en ellas el feldespato predomina sobre el cuarzo en los cristales primarios, siendo principalmente el sanidino en macles de Carlsbad, alterado en sericita en las grietas; hay también una oligoclasa en cristales en zonas de crecimiento con pequeñas diferencias en el ángulo de extinción. Unos y otros feldespatos tienen inclusiones vítreas á veces. Las pocas secciones de cuarzo están corroídas por el magma, dando algunas veces un tapiz de cuarzo granudo al rededor de las secciones. La biotita es escasa y alterada. En el magma de estas rocas se observa á veces una curiosa división en glóbulos esféricos al parecer producidos por la contracción del magma durante el enfriamiento. Estos glóbulos se ven aislados y no dan aspecto diferente de el del magma. Suele verse una corona al rededor de estos glóbulos, cubierta por cuarzo, y en el interior, coronas concéntricas del mismo cuarzo alternando con partes del magma.

Secciones de contornos irregulares pero que recuerdan secciones de cristales, se ven actualmente rellenadas por una materia que su color é indicios de crucero recuerda á la calcita, y dentro de ella y desparramados, granos y cristales de piroxena de fuerte relieve y vivos colores de polarización. Es probable que estas secciones fueron originalmente de mica ó de algún otro mineral ferromagnésico. Cerca de estas secciones hay cristales de apatita.

En las rocas de Curucupaceo no escasean lagunas, ya de producción primordial y otras probablemente secundarias, formadas las unas de granos de feldespato y cuarzo granofírico, y las otras de cuarzo alotrimorfo.

La mezcla de magmas microcristalino-granular hipidiomórfico y cripto ó microcriptocristalino, con ó sin estructura de escurrimiento, es muy frecuente en las rhyolitas esferolíticas. Mr. J. P. Iddings cita esta estructura en su excelente capítulo sobre las rhyolitas de Yellowstone Park,[1] cuyas descripciones convienen casi exactamente á veces con las que podríamos dar de algunas de nuestras rhyolitas.

En unos casos considera dicho autor aquella primera forma de estructura como primaria, es decir, como una cristalización producida durante la final consolidación de esas rocas, y en otras supone que tal agregado es de origen secundario, que, á decir verdad, no es allí el caso más frecuente, porque esas rhyolitas están muy poco alteradas.

1 Iddings.—Geology of the Yellowstone Nat. Park. Monog. XXXII, 1899. U. S. Geol. Surv.

Una mezcla bien uniforme de magma obscuro á la luz polarizada, con partículas bien alumbradas y magma micro-criptocristalino, nos suministra ejemplares procedentes de las Cumbres de Barranca Grande, cerca del mineral de San José de Gracia en Sinaloa (18). Son estas rocas de color blanco rosado con pasta de aspecto litoídico pero con numerosos cristales de cuarzo y feldespato, unos de plagioclasa y otros de sanidino, difíciles de reconocer por su alteración muy avanzada. El magma con pocas granulaciones y algo manchado por óxidos de fierro, producto de la descomposición de un mineral ferromagnésico, está constituído de una masa microcristalina de pequeñas secciones ó playitas de cuarzo y feldespato y partes también cristalinas pero de contornos indefinidos. Lagunas de materia amorfa y granos alumbrados llenan los huecos y aparecen como un residuo de última consolidación.

Muchas de las secciones de cuarzo primario de esta roca ofrecen regueros de cavidades é inclusiones líquidas con burbujas movibles.

Esferolitas.

Vamos á entrar ahora á la descripción del grupo más numeroso, importante y sugestivo de rhyolitas propiamente dichas, que son aquellas en las que en un magma microcristalino, criptocristalino y microlítico tal como lo acabamos de definir, ó vítreo, los tres primeros, como estados distintos y aun sucesivos de crecimiento simultáneo de cuarzo y feldespato, se han segregado estos mismos minerales con cierta ordenación, que por la forma de su conjunto, en muchos casos esférica y con estructura interior radiante y concéntrica, se ha convenido en llamar esferolítica. La estructura de estos individuos y el estudio de su modo de formación, han dado materia para muchas descripciones y aun para discusiones que han nacido de la dificultad que se ha tenido para determinar la verdadera naturaleza de los elementos cristalinos que entran en la constitución de dichas esferolitas, elementos muchas veces no discernibles ni á los más fuertes aumentos.

Sin entrar nosotros en el terreno de la discusión, ni en la precisa definición de las esferolitas, que tanto han ilustrado los hermosos estudios de Iddings, de Cross, Rosenbusch y otros, diremos que en el excelente material de que disponemos, encontramos una gran variedad, no sólo de formas que muchas distan bastante de tener la forma esférica, sino también de estructura, y desde este punto de vista iguales ó muy semejantes á las que ha estudiado con detalle Iddings, del Yellowstone Park en los Estados Unidos.[1] En vista de dicho material, nos parece que hay pruebas suficientes para considerar tales formas radiantes como una cristalización simultánea de cuarzo y feldespato, que responde, como dicen Teall[2] y Broger, á la composición de la micropegmatita, hacia la que, como veremos, presenta las más finas gradaciones, re-

1 Iddings, op. cit.
2 Teall.—British Petrography, London, 1898.

vistiendo en sus pasos formas que por ser tan variadas como caprichosas llaman inmediatamente la atención en el campo del microscopio. Hay ciertamente en muchos casos agrupaciones esféricas de un solo mineral, como de feldespato, que hemos visto en algunas obsidianas desvitrificadas y en otras lavas rhyolíticas y que Rosenbusch designa con el nombre de esfero-cristales, pero es indudable que aun en ciertas esferolitas, como es muy frecuente, que no muestran por su pequeñez las partículas, una forma aparente cristalina definida, son también constituídas de un crecimiento simultáneo de cuarzo y feldespato (intergrowth).

Así consideradas las esferolitas, podemos distinguir tres tipos principales, en los que quedan comprendidas casi todas las variedades observadas por nosotros, á saber:

a. Esferolitas compactas generalmente pequeñas, radialmente fibrosas, cuyas fibras se ven á veces muy claras en la luz incidente. A la luz polarizada dan la cruz negra de brazos paralelos á los planos principales de los nicols; la forma individual de las partículas cristalinas de las fibras no es determinable.

b. Esferolitas constituídas de manojos de fibras radiantes con cruz negra incompleta y de brazos oblicuos. Frecuentemente se ven zonas concéntricas. Las esferolitas son de grandes dimensiones y no siempre radian de un centro. Afectan á veces la forma de husos, pinceles ó plumas. En parte de ellas se pueden distinguir las agujas de feldespato, y cuarzo entretejido.

c. Esferolitas compuestas de fibras ramificadas hechas de cristales muy pequeños de feldespato, entre los cuales hay escamas de tridymita, cavidades de gas y cuñitas de cuarzo.

Después siguen las esferolitas muy porosas ó las litofisas y las otras formas de crecimiento simultáneo ya más próximas á la forma perfecta micropegmatítica.

Análisis químicos cuidadosos han demostrado la semejante composición del magma amorfo de las rhyolitas, de la materia micro y criptocristalina y de las esferolitas; también se demuestra en las láminas, que las esferolitas se han formado en muchos casos al finalizar la consolidación del magma, pues han nacido cuando ya ha cesado de escurrir y por lo tanto en estado viscoso. Pero para la formación de la esferolita se ha necesitado de suficiente movilidad de las partículas para determinar su ordenación, movilidad que no ha tenido en todas sus partes el magma. Iddings[1] da una explicación muy plausible de la formación de las esferolitas, suponiendo que son el resultado de la acción del vapor de agua absorbido por un magma silizoso, que desde el momento en que dicha agua no entra en la composición de los minerales resultantes, su acción viene á ser casi exclusivamente física. El vapor de agua, según se demuestra, hace descender el punto de solidificación de los magmas, determinando en las partes de dicho magma cargadas de vapor y

1 J. P. Iddings.—Spherulitic Crystalization.—Phil. Soc. of Washington, Vol. XI, 1891.

á una temperatura dada, una mayor fluidez de esa parte que en el resto de la masa, permitiendo así la ordenación de las moléculas para dar un espacio más cristalino que el resto de la masa y producir también la ordenación de las partículas cristalinas.

Para dar á nuestra descripción una forma sistemática, debemos aquí de comenzar por aquellas rhyolitas propiamente dichas que presentan esferolitas en su forma más simple, que más bien afectan por su pequeñez y poca regularidad de sus contornos, la forma de rosetas, las que se tocan á veces mútuamente formando propiamente un magma microesferolítico. (Fig. 1, lám. VI). Este contacto mutuo es el que origina en la mayor parte de los casos su contorno irregular. De nuestros buenos ejemplares de rhyolitas con fino magma esferolítico, citaremos desde luego, las de la bajada al río Chico en el camino de Durango á Mazatlán, la roca del cerro de las Navajas á 20 leguas al S.W. de la ciudad de Durango (17) sobre la Sierra Madre occidental. Tienen un color gris rosado y son compactas, no dejando ver á la simple vista su carácter esferolítico que en el microscopio se descubre á la luz polarizada. A la luz natural puede observarse la estructura radial y muy finamente fibrosa de cada esferolita en un campo limpio, ó con escasas partículas opacas en regueros orientados según las fibras, á veces sólo se ven en los bordes de cada glóbulo esferolítico. A la luz polarizada, cada roseta muestra la cruz negra de brazos orientados según los planos principales de los nicols y teniendo cada brazo una penumbra en sector de círculo. Los sectores alumbrados dan un tinte uniforme de débil doble refracción. Aunque el carácter fibroso se conserva en los nicols cruzados, las fibras son tan finas que no es posible individualizarlas ni con muy fuertes aumentos. Espacios sin acción sobre la luz polarizada separan á grupos de esférulos, pareciendo por eso que tales espacios están cubiertos por materia amorfa en donde se aglomeran en mayor cantidad las partículas ferruginosas.

Algunas cavidades que quedaron vacías entre las esferolitas han sido llenadas por cuarzo alotrimorfo, en grandes y pequeñas playas con pequeños poros gaseosos. En el magma amorfo se encuentran con relativa abundancia agujitas y granos de color verde, que suponemos son de augita, desparramadas juntamente con las granulaciones triquíticas de óxido de fierro y pocos cristales de magnetita.

Aglomeraciones de esferolitas enteramente semejantes á las anteriores forman parte del magma de las rhyolitas de la Sierra de la Yesca (15) en el Territorio de Tepic, también sobre la Sierra Madre occidental. El carácter fibroso á la luz natural es muy claro y las partículas opacas se encuentran en los bordes de las esferolitas ó en los espacios entre ellas donde domina una materia amorfa y microcriptocristalina. Esta materia amorfa porlariza débilmente la luz y tiende á formar glóbulos ó esferoides como en los vidrios en tensión. En estas rocas es poco sensible la estructura fluidal y poco numerosos los cristales primarios de feldespato, que no se pueden determinar por su alteración avanzada. Otras partes del magma sin triquitas pero con

numerosos granos opacos, muestran la estructura criptocristalina en donde se dejan reconocer aquí y allá, playitas de cuarzo alotrimorfo y también agregación microlítica en forma radiante, de cuarzo y feldespato.

En muchas de las rosetas de que hablamos, los radios de la cruz negra son correspondientes á los planos principales de los nicols, pero hay algunos casos en que estas líneas de extinción no corresponden exactamente con aquellos planos, sino que son ligeramente oblicuas, lo que es debido seguramente, como en esferolitas más discernibles, á la diferente orientación de las fibras componentes de feldespato y de cuarzo.

En muchos otros lugares de la Sierra Madre occidental se encuentran rhyolitas con esta forma de agrupación radial, con caracteres iguales en todas sus partes, de modo que no es preciso hacer de ellas otra descripción. Trataremos ahora de aquellas rhyolitas que llevan cuerpos esferolíticos un poco más discernibles, es decir, que los elementos cristalinos de cuarzo y feldespato que los constituyen, sobre todo este último, están mejor individualizados.

De este segundo tipo de esferolitas citaremos las de las rhyolitas de los cerros próximos á Acámbaro (13), de color gris manchado de rojo; contienen muchos fenocristales de cuarzo y sanidino. Las esferolitas son opacas y formadas de haces de fibras alternativamente alumbradas y obscurecidas. Hay granos opacos formando triquitas que irradian como las fibras. Los manojos de fibras de estas esferolitas muestran la curiosa disposición de conos empotrados que indican que hubo varios puntos donde comenzó la cristalización. Se puede probar en muchos casos que las fibras individualmente son cónicas y puede explicarse su desarrollo de manera análoga á la sugerida por G. A. J. Cole.[1] Algunas veces las fibras cuando son vistas con fuertes aumentos, se pueden resolver en cristalitos aciculares de feldespato, seguramente de sanidino con extinción longitudinal. Partes de estas fibras ó de los manojos muestran tintes claros é intensos de polarización, suponiendo por este carácter la presencia del cuarzo. Las esferolitas generalmente agrupadas, están contenidas en un magma amorfo con partículas alumbradas pequeñas de cuarzo y feldespato y finas granulaciones en ordenación fluidal. Los cristales primarios de cuarzo son límpidos con corrosiones en su interior llenas de materia esferolítica; el sanidino viene en excelentes cristales con macles de Carlsbad, alargados según la clinodiagonal. La biotita ó mica ferrífera viene también en pequeñas laminitas.

Con este mismo aspecto se presentan las esferolitas que forman la casi totalidad de las rhyolitas del cerro de Chichíndaro, en Guanajuato. Llevan en su masa numerosas agujas triquíticas radiantes y penachos de materia ferruginosa. Estas rhyolitas tienen pocos fenocristales.

El análisis de una roca de esta localidad dió:

1 G. A. J. Cole.—On some examples of cone in cone structure. Geol. Mag. Vol. X, nº 46.

SiO^2	71.00
Al^2O^3	12.48
Fe^2O^3	3.48
K^2O	3.23
Na^2O	3.42

Casi la misma descripción le conviene á la rhyolita de cerca de la cascada de San Diego, en el Mineral del Chico (2), con sus esferolitas opacas por aglomeración de finas puntuaciones y con triquitas radiantes de materia ferruginosa. Las granulaciones se acumulan en capas concéntricas, dando á veces una serie de anillos alternativamente opacos y alumbrados á la luz polarizada. El magma de esta roca es más cristalino y con menos impurezas, pues se ve muy claro é incoloro á la luz natural, en el que se notan fácilmente las secciones opacas de las esferolitas (lám. VI, fig. 2). Lo único que sobresale en el magma son algunas triquitas con la forma de simples barritas negras. El cuarzo como el sanidino de esta roca contienen hileras de finas cavidades; se ven muy corroídos por el magma y están cruzadas las secciones por grietas llenas de cuarzo que también atraviesa en venillas al magma. Estas grietas á veces son muy anchas y aislan á partes de la roca.

Un excelente ejemplar de la Sierra de la Parida (15), entre los límites del Estado de Zacatecas y Territorio de Tepic (15), deja ver el mismo tipo de esferolitas de la roca anterior, es decir, resolubles en haces de fibras con extinción irregular; rosarios radiantes de triquitas separan los manojos fibrosos de estas esferolitas, las que están en un magma amorfo con finas partículas alumbradas. La roca contiene diseminados numerosos cristalitos de primera consolidación, entre los cuales domina el sanidino en pedazos de cristales con el gemelo de Carlsbad, límpidos y desprovistos de inclusiones; después en cantidad sigue el cuarzo, y por último, una plagioclasa en macles sucesivos que muestran el ángulo de extinción pequeño de la andesina. El despedazamiento de estos cristales le dan á la roca el aspecto de una brecha. Como mineral accesorio, citaremos algunas secciones de hornblenda ferrífera reabsorbida que sirve á veces de núcleo á los grupos de esferolitas.

Es muy común en algunas rhyolitas, que las esferolitas finamente fibrosas sólo sean visibles á la luz polarizada y que á la luz natural se observe la estructura fluidal de la roca indicada por hileras de partículas y triquitas, que pasan á través de los glóbulos esferolíticos sin modificarse en nada las bandas de fluidalidad. Una rhyolita roja litoidica de la Sierra Pinta, en el Distrito del Altar, en Sonora (22), muestra este doble aspecto de magma esferolítico y estructura fluidal; y presenta el caso muy instructivo de una muy lenta transición de las esferolitas al magma microlítico ó criptocristalino, es decir, que en parte el contorno de las esferolitas no es marcado. Así por ejemplo; cada esferolita al partir del centro, está formada de manojos apretados de fibras que se van subdividiendo poco á poco hacia la periferia como si tendiesen á aislarse unas de otras las fibras, dejando espacios llenos de materia

amorfa. Más lejos del centro, el carácter fibroso es menos marcado, la longitud de las fibras es menor hasta llegar á confundirse en tamaño con las partículas pequeñísimas alumbradas contenidas en la pasta amorfa, demostrándose así la igualdad de naturaleza del magma de las rhyolitas y de la materia esferolítica. Esta roca tiene cristalitos primarios de sanidino diseminados ó agrupados, dejando entre sí espacios ocupados por una masa finamente granuda de cuarzo y feldespato.

En la región rhyolítica del Tejocote, cerca de Huayacocotla (6), en el Cantón de Chicontepec (Veracruz), hay rocas con magma constituído en su mayor parte de finas esferolitas con cruz negra bien orientada. Las fibras muy finas son reconocibles á la luz natural; también se ven partículas y triquitas ordenadas fluidalmente pasando por encima de las esferolitas. No escasean aquí los glóbulos de vidrio que polarizan por tensión.

Pocas rocas rhyolíticas mexicanas nos dan un estado esferolítico tan bien desarrollado como el de algunas rocas de Azoyatla, al S. del Mineral de Pachuca, no lejos de las Navajas (1). Son rocas macizas, de color rosado muy claro y muy frescas. El magma no es más que una agregación de esferolitas circulares de límites muy marcados, pues según sus contornos tuvo lugar una división de la masa por contracción que mucho se asemeja á una división perlítica; las grietas están tapizadas de la característica asociación de cuarzo y feldespato, con materia amorfa escasa.

A la luz natural las esferolitas dan un campo limpio, en el que destacan triquitas radiantes ferruginosas que representamos en la fig. 3, lám. VI, únicas que coloran á la roca casi desprovista de otras granulaciones opacas. Con fuertes aumentos, y mejor con la luz convergente, se puede apreciar con suma claridad la estructura fibrosa de cada esferolita y en partes muy finamente granular y no radiante, como sucede regularmente en el centro de cada glóbulo. A la luz polarizada se muestran un poco diferentes de las esferolitas antes descritas. En efecto, la mayor parte se resuelven en manojos de fibras obscuras y alumbradas, tendiendo á dar una cruz negra con brazos ligeramente oblicuos á la orientación de los planos principales de los nicols; las partes alumbradas dan porciones de débil doble refracción y partes fuertemente alumbradas que corresponden á las regiones finamente granulosas que se ven á la luz natural y que parecen formadas de partículas sumamente pequeñas de cuarzo. En las partes radiantes ó en los manojos de fibras, el feldespato es el que domina. El cuarzo granular es muy fácil de identificarlo porque en el corazón de los glóbulos se ven en mayores dimensiones las playitas de cuarzo granudo, las que disminuyen poco á poco en tamaño hacia la periferia hasta formar el tapiz fino y bien alumbrado de que acabamos de hablar. El mismo fenómeno se observa en el borde de algunas esferolitas, en donde claramente se observa el paso de las porciones granudas finas de las esferolitas á playas grandes de cuarzo, en las que se puede hacer una exacta determinación de su naturaleza. Otras veces el cuarzo granudo de los bordes de las esferolitas, adquiere en el magma la característica estructura *micropoi-*

kilítica[1] llevada á la más grande pequeñez á que es posible observarla. Tal cemento, que podemos considerar interesferolítico, es igual y se presenta á veces en condiciones análogas al ya descrito por Iddings en la página 421 de su último trabajo sobre las rhyolitas del Yellowstone Park.[2]

Los elementos porfiríticos de estas rhyolitas esferolíticas son principalmente el sanidino, en sus formas comunes macleadas; playas muy limpias de cuarzo corroído y una plagioclasa del tipo de las andesinas, que accidentalmente se encuentra. Muy notable es en esta roca una sección grande de cuarzo idiomórfico que cristalizó simultáneamente con una plagioclasa en la forma micrográfica. Las partes de uno y otro mineral se distinguen claramente; el cuarzo por su limpidez y la plagioclasa porque muestra los macles sucesivos. Contienen éstos, pequeñas partículas opacas incluídas y diminutos glóbulos gaseosos. Accesoriamente se encuentran en esta roca, láminas de biotita, alterada en productos ferruginosos en el borde de las secciones.

Esta descripción podría aplicarse á otras rhyolitas con una estructura esferolítica muy semejante; por ejemplo, para una roca de las márgenes del río de Santiago, cerca del Paso de los Bueyes, en el Territorio de Tepic (15), que se resuelve al microscopio, como la anterior, en un magma esferolítico muy cargado de partículas opacas y triquitas radiantes que constrastan con partes muy limpias interesferolíticas, constituídas de cuarzo micropoikilítico en un magma criptocristalino. Las esferolitas no son circulares, sino que afectan de ordinario la forma de plumas y se aislan claramente del magma por una zona límpida desprovista de granulaciones. En este caso las esferolitas son de contornos más irregulares, con formas pedunculadas parecidas á las de la liparita de Kremnizcka figuradas por Rosenbusch.[3] Lám. VI, fig. 4.

A despecho de la poca luz que puede pasar á causa de las impurezas, á través de las esferolitas, se pueden observar los manojos de fibras de feldespato débilmente polarizados y las partes granudas finas de cuarzo que se ven con mayor claridad en los bordes, en los intersticios en las esferolitas, ó en lagunas en el campo criptocristalino.

El cuarzo de primera consolidación abunda, muy corroido y desprovisto de inclusiones, el sanidino y á veces la plagioclasa están muy alterados, dando como productos de la descomposición, la kaolinita, la calcita y la epidota desarrollada en agujas prismáticas agrupadas en rosetas, con sus vivos colores de polarización. Las mismas agujas microscópicas se encuentran diseminadas en el magma así como en el interior de secciones de una biotita de fuerte dicroismo. La apatita se encuentra en pequeñas agujas en el magma.

Las rhyolitas de esta región del río de Santiago son muy interesantes porque se prestan á un estudio muy completo de la estructura esferolítica. Las

1 Una descripción sucinta de esta estructura se encontrará más adelante.

2 J. P. Iddings.—Geology of the Yellowstone Nat. Park.—Monog. XXXII. U. S. Geol. Survey.

3 Mikroscopische Physiographie, etc. Stuttgart, 1896.

mismas preparaciones suelen mostrar los tres aspectos muy característicos representados en las figuras 5 y 6 de la lám. VI y fig. 1 de la lám. VII.

Las esferolitas de la figura 5 están al rededor de un fragmento de feldespato cortado por la superficie de la preparación en la orientación casi del braquipinacoide, con extinción vecina de la andesina. Estas esferolitas retienen en su masa gran cantidad de partículas coloridas, lo mismo que el magma que las rodea. Tienen también triquitas radiantes. En los nicols cruzados estas esferolitas están formadas de manojos de fibras alternativamente alumbradas y obscuras sin corresponder exactamente su extinción á la forma de la cruz de brazos orientados. El magma que rodea á estas esferolitas es también fibroso y radiante pero sin forma definida de contornos. Está compuesto de grupos de fibras de feldespato con intercalaciones de granitos de cuarzo en agregación alotrimorfa.

Este magma puede dar, como en la figura 6, esferolitas francas, excéntricas, en forma de abanicos, con manchas muy alumbradas formadas de granitos de cuarzo aglomerados. Las esferolitas se dividen en conchas ó capas concéntricas separadas por fajitas angostas obscuras como si fueran de materia amorfa. Por último, la figura 1, lámina VII, muestra penachos radiantes en forma de pincel, constituídos de fibras de feldespato con intercalaciones de cuñitas de cuarzo. Estas tres variedades de esferolitas no parecen haberse formado en el mismo tiempo, pues los penachos de la figura 1 son restos de grandes esferolitas á expensas de las cuales se ha formado el tapiz fibroso y micropoikilítico que las rodea. En fin; la esferolita, adherida al fragmento de plagioclasa, parece ser la de última formación.

En las preparaciones microscópicas que nos han servido para presentar estos variados aspectos de esferolitas, persisten las alteraciones citadas antes, y que han dado lugar á la formación de la epidota y de la materia opaca en el interior de los cristales de feldespato.

Muy diferentes de los anteriores son los cuerpos esferolíticos que se encuentran en algunas rhyolitas, especialmente de las Sierras de Villanueva y de Jerez (14), pues que en lugar de mostrar su carácter fibroso fino, y formados de cuarzo y feldespato, aparecen constituídos de simples aglomeraciones radiantes de cristales microlíticos de feldespato, pudiendo á veces reconocer la forma cristalina individual de dichas microlitas. Así, vemos la asociación de los individuos macleados según la ley de Carlsbad ó cristales simples, alargados según la cara clinodiagonal con extinción paralela á su alargamiento. Partículas opacas y algunas triquitas se ordenan también radialmente. Algunas esferolitas tienen en su interior grandes playas de cuarzo, probablemente secundario. Estas esferolitas están rodeadas de materia amorfa con huellas de escurrimiento, en cuya masa se ven también esferolitas pequeñas finamente radiantes y de cruz negra del tipo de las primeras que hemos descrito. Mientras que las esferolitas de feldespato (felso–esferolitas) están rodeadas de una auréola de granulaciones que indica que dicho magma fluidal las envuelve y las contornea, en las esferolitas de cruz negra el magma pasa sobre ellas sin

modificar su orientación, pues se ven á la luz natural las hileras de triquitas opacas sobre las esferolitas pequeñas aglomeradas, mostrando que han nacido después del escurrimiento. Las rocas muestran algunas esferolitas huecas y lagunas cubiertas de cristalitos de feldespato idiomórfico, de feldespato y de cuarzo, ó de feldespato y tridymita con vesículas gaseosas y cristalitos de fayalita ligeramenta verdosos. De los cristalitos feldespáticos, unos están en gemelos según la ley de Carlsbad y otros simples, se extinguen longitudinalmente.

Los fenocristales son poco abundantes generalmente en estas rocas, habiendo secciones límpidas de cuarzo y sanidino.

Las mismas aglomeraciones esferolíticas y formas arborescentes de feldespato, presenta una rhyolita en la parte superior de las montañas inmediatas al Mezquital del Oro, en las Sierras que se extienden al Sur de la de Villanueva (14). Se hallan en un magma sin estructura de escurrimiento con muchas playitas de cuarzo y feldespato. En esta roca, además del sanidino y del cuarzo de primera consolidación, se encuentran algunas láminas de biotita algo alterada. Esta forma esferolítica de crecimiento de cristales microscópicos, es enteramente semejante á la descrita por Iddings en la ya muchas veces citada obra, solamente que lo poco definido de los contornos de las microlitas nos impide á veces hacer la exacta determinación del feldespato por su orientación cristalográfica. Nuestra figura 6, lámina VII, da una idea de esta clase de esferolitas feldespáticas, las microlitas de feldespato ligadas por sus extremos, relativamente anchas para su longitud, están sin embargo alargadas en el sentido del eje vertical.

En las partes de la preparación, en las que las microlitas están cortadas transversalmente, se ven los cortes en la forma de rueditas y muchas de rombos, pudiendo apreciar á veces la soldadura de dos individuos. Dentro de esta aglomeración radiante de microlitas suelen hallarse playitas de cuarzo como materia intersticial y lagunitas de tridymita que empastan á veces á las microlitas. Como los individuos microlíticos no están muy unidos, las esferolitas son algo porosas. Los cuerpos esferolíticos se limitan ó distinguen muy claramente del resto del magma por una zona más obscura, donde se han aglomerado las partículas opacas. Nada de particular presenta el magma que sirve de cemento á las esferolitas, pues consta de materia amorfa con partículas de cuarzo bien alumbradas y microlitas de feldespato, pero suelen presentarse partes en las que estas últimas se hallan como verdaderas inclusiones dentro de grandes playas de cuarzo que ocupa espacios originalmente vacíos, cuarzo que quizá pueda ser de origen secundario. La roca tiene numerosos fenocristales de sanidino, algunos de cuarzo también primario y laminitas de biotita alterada.

Esferolitas compuestas de fibras de feldespato de muy pequeña dimensión, muy semejantes á las anteriores, nos suministra una roca de Boquillas de Corral de Piedra, en el Parral, Chihuahua (19). El cuarzo abunda las más veces en la forma micropoikilítica y es de formación posterior á las microlitas feldespáticas, sirviendo como de una masa interesferolítica.

Algunos casos especiales que presentan las esferolitas en sus relaciones con el magma, necesitan particular descripción. Uno muy interesante ofrece una rhyolita de la cima del cerro de la Castellana, prefectura de Ahuacatlán, Tepic (15), un macizo que á manera de Bufa corona á la montaña andesítica que aloja filones metalíferos. La rhyolita maciza de color rosado, tiene excelentes esferolitas megascópicas, que á la simple vista se ven radiantes y con capas concéntricas de diferente coloración.

El microscopio revela que la constitución principal de las esferolitas es en fibras muy finas radiantes, visibles aun á la luz natural, alumbradas en manojos de fibras con tendencia á definir la cruz negra pero de rayos oblicuos. El centro de algunas de las más grandes esferolitas está ocupado por un cristal, fig. 3, lám. VII, ó grupo de cristales de sanidino transformados en kaolinita y con inclusiones de playitas de cuarzo secundario que tapizan también las finas partiduras que cortan la materia fibrosa de la esferolita. En los bordes de cada esferolita se acumulan las partículas opacas que se disponen tanto en hileras radiantes como en capitas concéntricas, y poco á poco el extremo de las fibras se va transformando en pequeñas playitas que pasan en definitiva á una masa interesferolítica constituída de una asociación granofírica de cuarzo y feldespato, enteramente igual á la de nuestras microgranulitas terciarias. Fig. 4, Lám. VII.

Otras veces las fibras ya en los bordes de las esferolitas, pierden su ordenación regular radiante y se encorvan en un sentido obedeciendo el escurrimiento fluídico del magma acusado por el movimiento de las partículas opacas que entran en dicho magma microcristalino y criptocristalino.

Algunas esferolitas muestran, al partir del extremo de las fibras, una zona formada de cristales microlíticos de feldespato aglomerados radialmente.

Sucede frecuentemente que la pasta granofírica ocupa el centro del esférulo, Fig. 5, ó una zona intermedia, ó bien ese núcleo está constituído de un magma microcriptocristalino sin ninguna ordenación fibrosa ni radial.

No podemos desgraciadamente probar en qué momento se ha formado la pasta granofírica alrededor ó en el interior de las esferolitas y que se ha inyectado en las grietas que ellas tienen y en dónde se encuentran pequeños granos de un mineral verdoso que recuerda por sus caracteres la epidota. Sea que se suponga cristalizado el cuarzo y feldespato antes de la completa consolidación de la roca, ó posteriormente, como parece ser lo más probable, el caso es muy interesante, pues que no cabe duda que á expensas de la materia esferolítica se ha formado el cemento granofírico; entre las playitas de cuarzo y feldespato se encuentran restos de esferolitas y de magma criptocristalino con materia que cubrió los intersticios. Igual fenómeno se encuentra en las rhyolitas rosadas que forman la caja de vetas argentíferas en la mina de Cabrera, no muy lejos del cerro de la Castellana, en las orillas del río de Santiago.

Como casos especiales que muestran una individualización perfecta de los elementos de las esferolitas, citaremos el de una rhyolita parda del cerro de

la Mojonera, cerca de Durango (17), que tiene un magma muy vítreo con escurrimiento fluidal y pequeños cristales de sanidino y de cuarzo corroído. Las esferolitas tienen un principio de porosidad á juzgar por la separación individual de las fibras y rayos independientes, formado cada uno de cristales de feldespato unidos los unos á los otros por sus extremos. Tales cristalitos están alargados según el eje vertical y son ya positivos ó negativos en su doble refracción. En algunos se ve claramente el gemelo de Carlsbad. Una esferolita de tan clara estructura está representada en la lámina VII, figura 6; los sectores obscuros ó las partes que separan á los cristalitos feldespáticos están constituídos de aglomeraciones de láminas imbricadas de tridymita claramente visibles por sus formas comunes cristalográficas discernibles á los fuertes aumentos. Aglomeraciones de partículas opacas en curvas concéntricas impiden el paso de la luz en partes de estas esferolitas.

Muy semejantes son las esferolitas que tiene una roca gris rojiza de las orillas del río Nazas, en el Estado de Durango (17); las microlitas son de mayores dimensiones, la tridymita entra siempre cubriendo los intersticios entre ellas. El magma de las dos rocas aquí estudiadas no ofrece nada notable; la materia amorfa abunda, las partículas en ella diseminadas de cuarzo y feldespato, se distinguen en el campo obscuro á veces alineadas dichas partículas según las hileras fluidales que definen los granos opacos de óxido de fierro.

Axiolitas.

Las segregaciones radiales esferolíticas frecuentemente ofrecen formas que se apartan bastante de la original forma esférica que afectan las partes cristalinas que las constituyen, y estas desviaciones provienen, según hemos visto hasta aquí, bien de los obstáculos que han opuesto al completo desarrollo de la esferolita partes enteramente sólidas enclavadas en el magma, como los fenocristales, bien resistencias opuestas por densidad de la masa ó grados de enfriamiento de la misma, y al fin, por movimientos posteriores á la formación de las esferolitas que han determinado su ruptura ó su desagregación, presentándose entonces como partes de esferas, sectores, etc., ejemplos de los cuales hemos figurado en nuestras láminas. Pero hay otro género de agregación esferolítica muy interesante y que ocurre en México como en otras regiones rhyolíticas, con bastante profusión; queremos hablar de las "axiolitas" (Zirkel) ó sea agregados fibrosos que en lugar de radiar de un solo punto, radian según líneas rectas ó más ó menos sinuosas y constituídos de fibras en manojos radiantes y formando sectores ó conos encontrados; otras veces estas fibras se ordenan entre sí paralelas y normales á la línea central. Los caracteres de estructura, la apariencia al microscopio y las determinaciones ópticas que es posible hacer en las pequeñas partes cristalinas que las constituyen, son enteramente análogas á las de las esferolitas propiamente dichas, y deben por lo tanto considerarse como productos de la misma naturaleza, pero variando un poco las condiciones de su formación.

En efecto, para la formación de las esferolitas comunes, ya hemos visto como Iddings supone una cierta movilidad del magma para determinar en muchos casos la agrupación de las partículas cristalinas, mientras que en muchas de las rocas con axiolitas, se puede observar que el magma debió haber estado próximo á su completa consolidación ó en un estado de tal manera viscoso que determinó partiduras en la roca originadas por contracción de la masa rápidamente enfriada y llenadas después de materia cristalina en forma análoga á la esferolítica. Iddings relaciona muchas formas axiolíticas á partiduras perlíticas del magma, puesto que encuentra en tales divisiones caracteres semejantes á los de la propia estructura perlítica, y tal es el caso para muchas de nuestras axiolitas. Otros casos tenemos, que también considera el mismo autor, en los que la cristalización esferolítica se ha verificado á lo largo de las líneas que separan á fragmentos de lavas rhyolíticas y que forman una verdadera soldadura. En tales casos, las axiolitas frecuentemente ofrecen ensanchamientos de forma triangular, resultando del poco ajuste de los fragmentos entre sí. Parece difícil explicar á veces tal condición de fragmentos soldados y no ser más que una apariencia lo que en realidad sería el resultado de la cristalización esferolítica en grietas irregulares producidas por la contracción de una masa ó en grietas más ó menos circulares que corresponden exactamente á la división perlítica tan frecuente en los vidrios ácidos. Lo que hay de particular en las rocas con axiolitas es que éstas no siempre vienen en lavas poco cristalizadas como parecería ser el caso general, sino que también existen en magmas bastante cristalizados y á veces en magmas casi holocristalinos.

Digamos de paso que en la estructura de las axiolitas hay como en la de las esferolitas propiamente dichas, todas las transiciones posibles ya observadas en estas últimas; desde un estado finamente fibroso irresoluble á los más fuertes aumentos, hasta un estado en que se pueden percibir los elementos microlíticos que las integran y su manera de unión, como en las felsoesferolitas y hasta la agregación granofírica del cuarzo y feldespato como en algunas partes interesferolíticas y que rellenan las partes centrales de algunas axiolitas.

Haríamos muy larga nuestra descripción si quisiésemos citar todas las localidades que dan rhyolitas axiolíticas con formas enteramente semejantes; nos contentamos con mencionar las principales y más típicas.

Desde luego tenemos una roca blanco agrisada de la región del Mezquital del Oro, en el Distrito de Juchipila, del Estado de Zacatecas (15), localidad que ya hemos mencionado hablando de otros aspectos de rhyolitas. Esta roca se caracteriza por un magma amorfo y microcriptocristalino que sirve de cemento á numerosas playitas de cuarzo y feldespato, que aunque de contornos irregulares son reconocibles fácilmente como partes bien individualizadas del magma de segunda consolidación. En este magma se aislan los cuerpos axiolíticos claramente visibles á la luz natural y afectando diferentes formas, entre otras las de semicírculos, barras, figuras en S ó partes esqui-

nadas triangulares, todas de color ligeramente amarillo. Aglomeraciones de partículas según la línea central y muy finas fibras normales á los contornos completan la estructura. La polarización de las fibras radiantes es débil como la de ciertas esferolitas incipientes, pero á los fuertes aumentos es posible apreciar la naturaleza cristalina de las partículas que componen las fibras. Sin embargo, una materia ligeramente colorida como el ópalo, no parece ser extraña en estos cuerpos, llenando de preferencia el medio de la cavidad donde se aglomeran también las partículas opacas. La apariencia á la luz natural es semejante á la de la roca con axiolitas de Mopung Hills al W. de Humboldt Ranges (Zirkel).[1]

Partículas negras de óxido de fierro bordean también á las axiolitas y se distribuyen irregularmente en el magma al lado de secciones cuadradas poco abundantes de magnetita y algunas microlitas opacas probablemente de augita. La roca es pobre en fenocristales pudiendo ver solamente restos de cristales de sanidino y laminitas muy dicroicas de mica parda.

Antes de seguir adelante nos permitiremos llamar la atención sobre el hecho de que el diferente grado de cristalinidad de ciertas partes del magma de algunas rhyolitas, (criptocristalino con playitas de cuarzo y feldespato) puede provenir de una especie de silicificación por acciones muy posteriores á su consosolidación, y si esto se puede demostrar, se probaría también que los cuerpos axiolíticos de estas rocas se han formado en este tiempo. Pongamos el ejemplo de rhyolitas axiolíticas violadas del N.W. de Guanaceví, en el Partido de Santiago Papasquiaro, Durango (17), de magma muy cargado de sílice; las axiolitas aparecen como cubriendo espacios antes vacíos. Las partículas cristalinas que forman las axiolitas, pasan á microlitas feldespáticas reconocibles ópticamente.

Aquí los fenocristales son más abundantes no sólo de sanidino y mica, sino también de cuarzo con inclusiones vítreas y burbujas de gas. Hemos visto en esta roca un cristal de feldespato con playas de cuarzo en cristalización simultánea.

Con el mismo aspecto del magma encontramos la roca gris rosada de la Sierra del Oso, en el Partido de Indé, Durango (17). Las axiolitas se distinguen en mayor abundancia en ciertas partes muy porosas de la roca y á veces en formas casi circulares formadas de partes fibrosas y de cuarzo y otras de microlitas de feldespato con sus extremos muy claros hacia el interior de las axiolitas en donde hay un espacio hueco ó lleno de una masa holocristalina de cuarzo indudablemente de origen secundario. Lo mismo que en la roca anteriormente citada, el sanidino límpido viene en la roca como cristales primarios. Como se ve por lo expuesto, es indispensable distinguir en las rhyolitas, las axiolitas que proceden de una cristalización posterior á su consolidación y como una materia de relleno intersticial quizá únicamente debida á la infiltración de aguas calientes y vapores sobrecalentados circulando

1 Microscopical Petrographie Geol. Expl. Fortieth parallel.

en los intersticios de estas rocas, pues nótese bien que las rocas anteriormente descritas proceden de localidades reconocidas como mineras. Otra cosa que llama la atención de estas axiolitas es la ausencia de la trydimita en los productos del último relleno que siempre ha sido el cuarzo, como se ve muy claro en las axiolitas de la rhyolita gris de Boquillas del Muerto, cerca de Durango (17), que como las rocas de Indé, muestra las playitas de cuarzo secundario cubriendo la cavidad que dejan los extremos fibrosos esferolíticos que tapizan á las cavidades alargadas.

Son mucbo más numerosas las rhyolitas con axiolitas formadas antes de la consolidación completa de la roca y nacidas al mismo tiempo que las esferolitas perfectas; por ejemplo, las de una roca de la margen del río de Santiago, al pie de la Sierra de Alica (15). Al lado de agrupaciones de esferolitas, se observan cintas de materia fibrosa adherida á un magma con materia amorfa y pequeñas partículas alumbradas de cuarzo y feldespato. Los fenocristales que tiene esta roca son el cuarzo en playas corroídas y sin inclusiones, y el sanidino. Algunas partes esferolíticas y el feldespato del magma han sufrido alteraciones metasomáticas importantes como en las rocas propylíticas, tales son por ejemplo la producción de epidota en pequeñas agujas. Un mineral ferromagnésico que no es posible reconocer, se ha transformado en masas radiales de clorita, de epidota y granos de un mineral de intenso color azul, probablemente arfvesonita.

En no pocos casos las formas axiolíticas han tomado nacimiento en las bandas fluidales de la roca, definidas desde luego á la luz natural por los regueros de partículas opacas ferruginosas. La materia muy finamente fibrosa de las axiolitas presenta sus fibras normales á los bordes de las lagunas estiradas, y por lo tanto normales á las bandas de fluidalidad. Algunas formas triangulares y semicirculares distribuídas al acaso, tapizadas de fibras, presumen una división perlítica que acaeció al finalizar el escurrimiento de la roca, pues muchas de estas curvas cortan las bandas de fluidalidad. Lám. VIII, fig. 1. La roca de que hablamos, de magma, bastante vítreo, procede del arroyo de las Canteras, en el Valle de Allende (19), Distrito del mismo nombre en el Estado de Chihuahua, roca porosa de color rojo intenso.

Un aspecto enteramente análogo é idénticas condiciones de formación de las axiolitas, nos da una rhyolita roja de las cumbres entre Texcaltitlán y Temascaltepec (7), en el Estado de México; roca de aspecto de toba que tiene la particularidad de traer grandes pilas exagonales hasta de 2½ centímetros de diámetro de mica ferrífera alterada.

En las mismas muestras se encuentran algunos cuerpos cristalizados que se resuelven en una aglomeración de cristalitos radiantes de feldespato y cuñitas de cuarzo interpuestas. La viva polarización de este mineral contrasta con el color gris de las fibras feldespáticas que han cristalizado á veces con mucha regularidad. El magma amorfo obscuro permite ver con mucha claridad estas axiolitas. Existe también una agregación particular de cristalitos de cuarzo que dan idea desde luego por su aspecto, de las agrupaciones descri-

tas por Iddings en la página 414 de su último estudio del Yellowstone Park.[1] Agujas delgadas de feldespato, muy alargadas según la clinodiagonal, se adhieren por sus extremos; y en posición normal, cristalitos y agujitas muy finas de feldespato con extinción también longitudinal. Algunas agujas se ven macleadas, no pudiendo nosotros comprobar que este macle sea el de Manebach, como en los grupos de cristalitos descritos por Iddings.

Una rhyolita de pasta litoide, de color gris violado, procedente de Comanjillas, en las faldas occidentales de la Sierra de Guanajuato, presenta en su magma un excelente desarrollo axiolítico frecuentemente en la forma de barras bifurcadas con estructura radiante. En el medio de cada una de ellas se ven aglomeraciones de partículas pardas que nadan en la masa de ópalo que forma este relleno. En ciertos lugares, la roca parece formada de partes soldadas, y abundan en ella los nidos tapizados de cuarzo y tridymita con la parte central cubierta de ópalo.

En resumen, en algunas de las formas axiolíticas que acabamos de pasar en revista, se ve que la pasta fibrosa esferolítica sólo forma una cubierta en la cavidad, y que el interior, ó está hueco, ó lleno de playitas de cuarzo y feldespato que hemos considerado como de depósito secundario. Esto parece indicar que la materia fibrosa esferolítica, no cubrió enteramente el espacio que tapiza, ó que habiéndolo cubierto, ha sufrido la masa una recristalización después de una redisolución determinada por la acción de vapores sobrecalentados. También es indudable que en algunos casos, como lo indicamos al principio, la masa cristalina, esencialmente el cuarzo que llena el centro de las cavidades, ha sido traída del exterior por estas mismas aguas que llenaron las cavidades. Fenómenos de esta clase pueden ser en casos semejantes de aplicación más general, pues como tal lo prueban las indicaciones de Bonney[2] y las de Cole,[3] sobre todo este último en su interesante estudio sobre "Lythophyses and Hollow spherulites in alterad rocks."

Litofisas.

Hemos hablado, al hacer la descripción de algunas rhyolitas, de ciertas esferolitas cuyo tejido fibroso no es unido, sino que dichas fibras se individualizan lo bastante para reconocer su naturaleza por sus propiedades cristalográficas. Estas esferolitas son por lo tanto porosas, los espacios que dejan entre sí los cristales microlíticos radiantes, están cubiertos de un delicado tapiz de trydimita, de granos de cuarzo, ó bien quedan cavidades pequeñas. Puede llegar el caso en que la mayor parte de la masa de las esferolitas se substraiga, conservándose solamente las partes más densas ó resistentes, como

1 Iddings.—Monog. XXXII. U. S. Geol. Survey.
2 Nodular felsites in the Bala Group of North Wales. Q. J. G. S.—Vol. XXXVIII.—1882.
3 Q. J. G. S.—Vol. XLVIII, 1892.

algunas de las capas concéntricas que con frecuencia se muestran, y que este residuo, así como las paredes de la roca que envuelve á las esferolitas, se transforme en una aglomeración toscamente radiante de cristales microscópicos. Las esferolitas que han sufrido tan curiosas modificaciones, suficientemente características para una especificación, han sido denominadas por Richthofen[1] *litofisas;* estudiadas por primera vez en Hungría y mencionadas posteriormente por muchos de los que han tenido oportunidad de hacer estudios especiales sobre las rhyolitas, indicando así la relativa grande distribución en las regiones rhyolíticas del globo. Ciertamente que entre las esferolitas comunes y las litofisas perfectas hay diferencias aparentemente muy marcadas, pero entre unas y otras existe la más fina transición; deben de tener un origen análogo como se prueba por el estudio detenido al microsopio y el análisis, que revelan una semejante composición mineralógica y química.

En la producción de las litofisas han concurrido acciones más complexas y prolongadas, pero de la misma índole que en las esferolitas, como lo han demostrado los acabados estudios de J. P. Iddings, á quien se deben los mejores trabajos monográficos sobre esta materia. Él funda la teoría más aceptable de su modo de formación, las particularidades notables de su estructura, la composición mineralógica, etc., especulación que ha sido posible en presencia del excelente material que suministran las obsidianas y las litoiditas de la clásica región del National Park.[2] El número de localidades americanas de rhyolitas con litofisas ha aumentado en estos últimos años. Zirkel las había mencionado ya en sus estudios de las rocas del Paralelo 40; y en Europa, después de la memoria de v. Richthofen sobre las rocas de Hungría publicada en 1860, han seguido los estudios de Szabó, de von Hauer, Roth, etc., y posteriormente los de Cole, Butler, Bonney y otros, la mayor parte con miras algo diversas de las indicadas por Iddings en su estudio ya citado, y que corrobora de alguna manera en su último trabajo sobre las rhyolitas de la misma localidad ya tantas veces mencionada. Con el material colectado por von Humboldt, C. A. Tenne,[3] estudió las litofisas que vienen en las obsidianas del cerro de las Navajas en la Sierra de Pachuca.

Teniendo á la vista este pequeño arsenal bibliográfico, especialmente los estudios de Iddings, nos proponemos estudiar algunas aunque pocas rhyolitas mexicanas con litofisas, sólo de aquellas localidades de las que contamos con buenos ejemplares, pues nunca al número de las que hablamos aquí, se limitan los hallazgos hechos hasta hoy, de litofisas en rocas mexicanas.

1 Studien aus den ungarisch-siebenbürgischen Trachytgebirgen. — Jahrb. K. K. geol. Reichs. Vol. 11, 1860.

2 Obsidian Cliff-Yellowstone Nat. Park. J. P. Iddings Seventh An. Rep. U. S. G. S. 1888 The Nature and Origin of Lithophises and the lamination of acid lavas. Am. Jr. of Sc. Vol. XXXIII, Jan. 1887.

3 C. A. Tenne.—Ueber gesteine des Cerro de las Navajas in Mexico. Zeitschr. Deutsch. Geol. Gesells. Berlin, 1885.

Por la perfección y belleza de las litofisas, las primeras que mencionamos son las de las colinas de Analco en las orillas de la ciudad de Durango (15), que vienen en una rhyolita litoide gris violada, de aspecto poroso por el número de grandes y pequeñas cavidades, elípticas ó circulares, hasta de tres centímetros de diámetro, rodeadas de una auréola blanca cristalina. En el interior se ven una multitud de finas hojitas concéntricas, comparables por su delicadeza á los pétalos de una rosa, y tan frágiles que caen al simple contacto de los dedos. La superficie de tan finas hojas, de color blanco, revela á la simple vista el carácter cristalino, y pronto se descubre que están formadas de una aglomeración de cristalitos blancos, ó transparentes é incoloros; laminitas negras de lustre casi metálico se encuentran adheridas en la superficie de las hojas y las mejor desarrolladas se ven en las cavidades más profundas. La delicadeza de las hojas que componen las litofisas impide hacer preparaciones microscópicas, pero fragmentos pequeños desprendidos de esas hojas nos han permitido estudiar al microscopio ó con una simple lente los minerales que las constituyen; los que por orden de dimensión, son: el cuarzo, en cristales aciculares prismáticos con la transparencia del vidrio, de longitud hasta de tres y cuatro milímetros, terminados en sus dos extremos por el doble romboedro. Estos cristales se agrupan en varios lugares en racimos, y se encuentran preferentemente en el centro de las cavidades de las litofisas, en donde hubo espacio bastante para desarrollarse en el sentido del prisma. Entre las hojas de las litofisas hay cristalitos de cuarzo generalmente de 1 á 2 milímetros, con las caras prismáticas tan poco desarrolladas que á veces desaparecen, quedando solamente la aparente doble pirámide exagonal. Los cristales prismáticos presentan el común crucero muy claro; los cristales piramidales son menos transparentes, y unos y otros tienen numerosas vesículas gaseosas en su interior. Estos cristales no forman propiamente parte de la masa de las hojas, sino que están adheridos en su superficie indicando que se han formado al último. La masa de las hojas consiste de una agregación de partículas cristalinas sin forma regular visible, mezcladas á pequeñas y muy delgadas laminitas de tridymita fácilmente reconocibles por sus contornos ordinarios de seis lados. Contienen muchas burbujas gaseosas. Por último, se distinguen diminutos cristales de feldespato, tan pequeños, que no siempre se puede hacer sobre ellos una buena determinación, pues muchos sólo tienen 0.5 mm. de longitud. Vienen en la forma de tablitas alargadas, cuyas caras de aplastamiento presumimos que son las de la base del prisma, y las alargadas las del clinopinacoide, apareciendo las del prisma como finas truncaduras en los extremos de las tablitas, limitadas por los ortodomas. La forma de estos cristales mucho se asemeja á los de las litofisas descritos por Iddings, pues la hemos comparado con la de los cristalitos desprendidos de las hojitas de las litofisas de una obsidiana del Yellowstone Park, que adquirimos bondadosamente del Museo Nacional de Washington, por intermedio del Prof. Geo P. Merrill. Si existen en las litofisas de Durango, las formas de la adularia, nosotros no lo hemos demostrado con seguridad, aunque he-

mos observado confusamente algunas caritas rómbicas, con la particularidad de tener un lustre nacarado. Contienen las tablitas, como el cuarzo y la tridymita, muchas vesículas gaseosas.

En cuanto á los cristalitos tabulares de 1 á 1.5 milímetros, con lustre metálico, que se encuentran diseminados en las superficies cristalinas de las litofisas, reconocemos las mismas formas de la fayalita de las Navajas y de Obsidian Cliff; es decir, la cara del macropinacoide (100), según la cual están aplastados, limitadas esas caras por las rudimentales del prisma (120), braquipinacoide (010), las de la pirámide y los domas. Las laminitas son enteramente opacas, en raros casos dejan pasar débilmente la luz con un color amarillo. La superficie negra brillante y á veces iridescente, tiene muchos granitos cristalinos adheridos y aun cristalitos prismáticos de cuarzo. Como se ve, la composición y estructura de nuestras litofisas de Durango conviene exactamente con las de Obsidian Cliff.

La roca litoide violada acribillada de las litofisas, presenta al microscopio un magma vítreo con finas triquitas opacas en forma de agujas con marcado alineamiento fluidal. En este magma vítreo se ven distribuídas partículas cristalinas que polarizan débilmente. Partes hay de magma criptomicrocristalino con rosetas y manchas irregulares fuertemente alumbradas que tienen la estructura micropoikilítica. El cuarzo es el constituyente principal, de aspecto esponjoso. Parece haber adquirido esa forma particular al mismo tiempo que las litofisas, con las que está en íntima conexión, como lo habremos de estudiar adelante especialmente.

En nuestro primer estudio (Bol. núm. 14) hemos hablado de la grande extensión que ocupan las rhyolitas en el Bajío y en las comarcas vecinas en los Estados de Querétaro y Guanajuato (4, 8). También hemos dicho que en la parte superior de muchas corrientes, estas lavas son ampollosas, con cavidades alargadas que siguen las bandas de escurrimiento y con espacios esféricos tapizados ó llenos de películas cristalinas, que son por lo tanto litofisas de aspecto, color y estructura enteramente igual á las de Durango. Las rocas del Distrito de San Juan del Río, en la región de Tequixquiápam (4), son las que suministran mejores ejemplares, especialmente en la parte superior de las corrientes, pero tienen la particularidad de haber sido cubiertas y en parte destruídas las litofisas, por un depósito concrecionado de ópalo fino, de ópalo rojo de fuego, de hialita y de calcedonia.

La explotación del ópalo fino en aquella localidad que ha dado los ópalos más renombrados de México, nos ha permitido obtener un excelente material muy fresco en donde seguir muy de cerca el modo según el cual se ha verificado el depósito de la sílice hidratada.

La simple inspección de las muestras da inmediatamente la convicción de que tal depósito ha tenido lugar mucho tiempo después de la completa consolidación de la roca y por el curso lento de aguas calientes conteniendo la sílice en disolución, que no sólo cubrió de ópalo las cavidades de la roca, sino que ha penetrado en su masa transformándola en partes hasta en verda-

dero semi–ópalo. En efecto; las lavas son generalmente de color rojo claro, violado ó pardas; presentan á la simple vista una superficie compacta y unida, unas veces mate, otras ligeramente brillante y lisa como la porcelana, y en ambos casos litoidica. Se encuentran también rocas que conservan la textura propia, con algunos fenocristales de cuarzo y feldespato y un mineral ferromagnésico muy alterado.

El carácter común de todas estas lavas es la estructura de escurrimiento, reconocida por las bandas delgadas y sinuosas, de color que varía del blanco al pardo obscuro. Siguiendo las sinuosidades de las bandas, hay series de cavidades de tamaños que varían desde 5 cm. hasta pequeñas hoquedades circulares y líneas de juntura de un milímetro ó menos de abertura. Para muchas de estas cavidades, sobre todo las de mediana dimensión, se palpa su origen esferolítico, es decir, que muchas de ellas son verdaderas litofisas ó esferolitas ahuecadas. En efecto; las cavidades se aproximan á la forma esférica; su interior está algunas veces cubierto de una serie de hojitas concéntricas; pero en lugar de presentar cada hojita una superficie de finos y delicados cristalitos aglomerados, esas hojitas, aunque delgadas, son más resistentes, su superficie aunque desigual no es cristalina, sino cubierta de una delgada y casi uniforme costra de ópalo blanco ó de hialita, esta última botroidal ó arriñonada y de color blanco sucio. A veces las cavidades de las litofisas no presentan las hojas sucesivas y concéntricas, la cavidad esférica está hueca, vacía, con las paredes cubiertas de la sílice hidratada en capitas muy finas concrecionadas y fuertemente adheridas. Algunas veces la costra pegada á la pared de la cavidad, envuelve á un nódulo de ópalo ó de calcedonia llenándola completamente, pero con la superficie mate desigual como con la impresión de otros esférulos, y enteramente semejante á esos cocos de calcedonia que se encuentran aislados en las arenas de los ríos. Muchos cocos de ópalo muy fino se han encontrado en estas cavidades, sirviéndoles de envoltura el ópalo amarillo de miel, el ópalo de fuego ó el ópalo blanco también con visos. El ópalo noble no sólo viene en las cavidades de las litofisas, viene con frecuencia en venillas y en masas irregulares que siguen las sinuosidades de las bandas fluidales de las rocas, sobre todo en aquellas cuyo magma está más impregnado de sílice. En ciertos planos de separación de la roca, en grietas quizá formadas por la contracción al enfriarse, hemos visto el ópalo de fuego embutido en una masa algo arcillosa y de hidrofana blanco lechosa. Un semi–ópalo rojo y el ópalo amarillo son los que se encuentran en más abundancia; y el rojo de fuego, es igual al de Zimapam. El ópalo noble y el ópalo blanco tienen la tendencia á separarse en capitas muy delgadas curvas y concéntricas, propiedad perjudicial á los lapidarios que les obliga á reducir mucho el tamaño de las piezas pulidas. Los ópalos finos que rellenan las litofisas tienen en más alto grado la propiedad de esfoliarse.

En fragmentos que tienen á la vez el ópalo y la roca en la que se depositó, se observa que el ópalo ha producido una disolución de partes del magma de dicha roca. El ópalo aparece inyectado en la masa, envolviendo como residuo,

á una materia ferruginosa en curiosas arborizaciones que se distinguen como inclusiones al través de la masa transparente del ópalo. Tal residuo representa las partículas opacas ó granulaciones del magma de estas lavas. También procede de la alteración de minerales ferromagnésicos primarios de la roca, como la hornblenda, que suele verse en cristales muy alterados pero conservando su forma prismática ó la sección exagonal de los cortes según la base. Envueltos por el ópalo se ven también grupos de agujas de rutilo empañadas, y cristalitos de cuarzo; y cuando la costra de sílice no es gruesa, estas agujas y cristalitos sobresalen, cubiertas de una delgada película de calcedonia ó de ópalo. Partes del magma criptocristalino no atacadas y con su propio color, existen también en la masa del ópalo y también en arborizaciones. Las preparaciones hechas, de las diferentes variedades de ópalo de las rhyolitas de Tequixquiápam,[1] muestran bajo el microscopio una absoluta semejanza entre sí. Son enteramente obscuros á la luz polarizada, rarísimos puntos al acaso dejan pasar la luz. Si es á la luz natural, aparecen incoloros, amarillentos ó anaranjados, según la variedad que se examine, con una superficie rugosa ó granulada. Las preparaciones vistas con lentes de mayor potencia, se resuelven en una red de muy finas partiduras ligeramente arredondeadas ó de contornos poligonales. Ni inclusiones ni cavidades gaseosas pueden reconocerse, y las finas partiduras se observan tanto en el ópalo muy fino, de brillantes visos coloridos, como en el ópalo de fuego, aunque en el primero son casi siempre más acentuadas y más finas. Si esa especie de laminación es un carácter común para todas las variedades del ópalo, no es sin duda la que da nacimiento á los visos del ópalo noble. Al atribuir Behrens tal fenómeno á una laminación, ésta deberá ser submicroscópica. Las partiduras suelen dejar un espacio hueco indudablemente lleno de algún gas.

Volvamos ahora al estudio de las cavidades de las litofisas y observemos aquellas que aun conservan las hojas petaloides en su interior. En muchas se advierte al microscopio una delgada película de sílice que no hace perder el aspecto cristalino de las hojas, pero vistas con aumentos poderosos, aparecen los pequeños cristales y la masa en general cristalina, cubierta de aglomeraciones arriñonadas ó botroidales de pequeñísimos glóbulos de ópalo hialita. Los cristales de cuarzo bipiramidales originalmente hialinos y transparentes, se empañan con este depósito, lo mismo que las laminitas exagonales de tridymita, que rotas y en los cantos muestran la capita de concreción. A despecho de la pequeñez de los cristales hemos podido ver también claras pseudomórfosis, sustitución de las laminitas de feldespato por hialita ó calcedonia. De la superficie así cubierta de las hojitas de las litofisas, sobresalen algunas veces alambritos de rutilo encorvados, cubiertos de hialita ó de una costrita de óxido de fierro.

1 Una descripción sucinta de los ópalos de Querétaro, se encuentra en "La Naturaleza," Tom. II, 1873.—M. Bárcena, "Los Opalos de México," y Dr. Burkart, "Ueber neue mexicanische Fundorte einiger Mineralien.—Neues Jahrbuch-Stuttgart, 1874.

Este es el aspecto general de las litofisas con concreciones, de todas las localidades opalíferas de Tequixquiapam y Cadereyta, especialmente de la Trinidad y de la hacienda de la Esperanza. Ocasionalmente en estos mismos puntos, encontramos litofisas más frescas y en las que se pueden estudiar mejor el carácter y naturaleza de las cubiertas cristalinas. Por ejemplo, en la región de la Trinidad, encontramos rocas con litofisas concrecionadas por ópalo, y en el mismo ejemplar partes con litofisas bien conservadas cubiertas de un finísimo tapiz cristalino y blanco como la azúcar, ó de un delicado color de rosa pálido. Los cristalitos tienen generalmente un tercio de milímetro de tamaño y es muy difícil precisar su forma cristalina por estar muy aglomerados. Sin embargo, entre esos diminutos cristalitos, reconocemos desde luego las laminitas de tridymita agrupadas, á veces formando el característico gemelo de tres individuos penetrados, el feldespato en tablitas transparentes como la tridymita, pero de forma rectangular con las esquinas truncadas, como la de los cristalitos de las litofisas de Obsidian Cliff (Iddings y Penfield); es decir, el desarrollo de la cara de la base según la cual están tabulados los cristales, limitada por los clinopinacoides y el prisma. No hemos podido precisar la existencia de los domas y por lo tanto si hay ó no el macle de Manebach. Suelen encontrarse en estas litofisas, aunque raras veces, las tablitas de fayalita, de lustre algo metálico y de color negro, con la forma común ya descrita, en otras litofisas.

Algunas rocas de la Trinidad son particularmente interesantes por la transparencia, tamaño y forma cristalina del cuarzo que viene en las cavidades, las que unas son esferolitas huecas con delicadas láminas petaloides, y otras cavidades irregulares de la misma época y modo de formación.

En estos espacios huecos se puede ver la cubierta secundaria del ópalo, la que no reviste sino parte de la cavidad; en el resto se encuentran partículas y masas arriñonadas de hialita, tan clara y transparente como el agua, en largas fibritas formadas de un rosario de glóbulos; ni la tridymita ni el feldespato pudimos observar, pero en cambio bellísimos cristalitos de cuarzo de un color ligeramente rosado, muy transparentes, de 1 mm. de longitud, con las formas raras del cuarzo descrito por Iddings y Penfield, de las cavidades y litofisas de las rhyolitas de Glade Creek.[1] En efecto, nuestros cristalitos tienen la pirámide terminal aguda formada por los dos romboedros (r y z), los romboedros más agudos (j y σ), y entre éstos las caras trapezoidales (N. L) angostas y apenas perceptibles. Hemos visto asociados á éstos, cristalitos mucho más pequeños, aciculares, con la combinación simple del doble romboedro y el prisma.

La fayalita es muy rara, en las cavidades con estos cristales de cuarzo; encontrando allí, con relativa abundancia, agujitas muy delgadas, opacas, ferruginosas, y un mineral oxidado, ó mejor, como enmohecido, sin forma cristalina

1 The minerals in hollow spherulites of rhyolite from Glade Creek, Wyoming. Am. Jr. of Sc. Vol. XLII, July 1891.

precisa ó cubiertas de una costra de hialita. Este mineral así alterado es probablemente la hornblenda, la misma que contiene la roca en fenocristales.

Aún más interesantes son las rhyolitas grises con abundantes fenocristales y con litofisas de las colinas que se hallan en el centro del valle de Tequixquiápam, no lejos y al E. de la hacienda de Santillán, en donde se ve parte de una corriente de rhyolita con estructura imperfectamente columnar, en cuyos pequeños acantilados se observa que las cavidades de las rocas y las esferolitas huecas son muy numerosas en la parte superior de la corriente. Las simples cavidades no esferolíticas son más numerosas que éstas, pero están unas y otras tapizadas de finos cristales tabulares muy transparentes, reconocibles con la lente, pues tienen un milímetro y á veces un poco más de longitud. Sobresaliendo de este tapiz cristalino se perciben inmediatamente cristales hasta de cinco milímetros de longitud, de cuarzo de color rosado, que pasa hasta el color de la ametista y en los que se reconocen fácilmente las caras estriadas del prisma (m), la pirámide aguda de los romboedros (j σ) y el apuntamiento terminal de los romboedros (r y z). Estos cristales son muy transparentes y parecen desprovistos de inclusiones.

En el fino tapiz cristalino que reviste las cavidades encontramos la siguiente asociación: cristalitos muy delgados y alargados de cuarzo, incoloros, (con numerosas cavidades gaseosas) en grupos radiantes al lado de los cristales de ametista ya mencionados; numerosas tablitas de feldespato, de forma rómbica ó alargadas, incoloras y también con inclusiones. Las caras de aplastamiento son las del clinopinacoide (010), limitado por la traza de la cara de la base (001) del prisma, muy alargada, la traza del ortopinacoide y el ortodoma (001 $\wedge$ 101=50°50′ aproximadamente). Como se ve, esta forma difiere de la que tienen las tablitas feldespáticas de las litofisas de Obsidian Cliff, con las que no pueden confundirse por mostrar éstas una simetría aparente producida por la traza de las caras prismáticas que limitan á la de la base del prisma, según la cual se hace el aplastamiento.

Laminitas de tridymita también existen y se confunden fácilmente con las de feldespato. Tienen siempre unas y otras cavidades gaseosas.

Pequeñitos granos cristalinos opacos de color negro, metálicos, se ven diseminados en la superficie blanca y cristalina de las cavidades. Presumimos que tales granitos son de magnetita, aunque no ha sido posible determinar claramente la forma cristalina.

Es curioso que en estas cavidades y litofisas de Santillán, no haya sido posible encontrar sino muy raras veces y en muy pequeñas láminas, la fayalita. Como se habrá comprendido ya, en las litofisas y cavidades de las rocas de las lomas de Santillán, no existe el depósito secundario de ópalo que tanto dificultó en otros lugares de Tequixquiapam la determinación de los minerales cristalizados.

La misma asociación y distribución tienen los revestimientos cristalinos de las litofisas y cavidades de las rhyolitas que forman las colinas inmediatas á la ciudad de Cadereyta, puesto que estas rocas son de la misma edad y algu-

nas han formado parte de las mismas corrientes rhyolíticas de Tequixquiapam, en vista de su proximidad.

Sólo nos falta dar alguna idea sobre el aspecto general de las rocas que contienen las litofisas de la región de que acabamos de hablar.

Aquellas rocas que contienen ópalos, son frecuentemente litoidicas, con marcada estructura de escurrimiento, resolviéndose al microscopio en un magma esferolítico, con esferolitas de cruz negra rodeadas por un magma criptocristalino, en el cual se ha desarrollado secundariamente abundante cuarzo en la forma micropoikilítica. Grandes playas de cuarzo empastan á delicados cristales microlíticos de feldespato en la forma de tablitas como las que traen las litofisas. Un ejemplo de esta cristalización del feldespato en el cuarzo se muestra en la figura 2 de la lámina VIII. Estos pequeños cristales se supone que han sido formados ampliamente, primero en una cavidad que bien pudo ser una litofisa, llenada posteriormente por el cuarzo, que no ha producido sobre los cristalitos existentes ninguna corrosión. Este cuarzo muestra muchas veces la forma regular de las secciones de sus cristales. Los espacios que quedaron entre esos cristales están por último cubiertos de ópalo de color amarillo á la luz natural, enteramente obscuro en los nicols cruzados, pues no muestra ningún fenómeno á la luz polarizada que dependa de un estado de tensión. Excelentes secciones de sanidino primario se ven desparramadas en la masa de la roca, las que están desarrolladas como los cristales de las litofisas de que hablamos en la página anterior. Laminitas de biotita alterada se encuentran raras veces.

De las rocas con litofisas, como se comprende, no se conservan en las láminas más que aquellas cavidades bien tapizadas de cuarzo y ópalo con los cristalitos originales de las litofisas empastados por el cuarzo ó por el ópalo. También se descubren algunas esferolitas esponjosas que muestran la agrupación radial de los cristales microlíticos que las componen y el tapiz de tridymita que cubre los intersticios.

En algunos ejemplares de la Trinidad y de Cadereyta, el magma criptocristalino casi desaparece, mostrando puramente un magma esferolítico con glóbulos de color amarillo á la luz natural y compuestos de fibras radiantes y con la cruz negra á la luz polarizada, lo que da la apariencia de una red á causa de que los brazos de la cruz de cada esferolita se tocan mutuamente. Las esferolitas al tocarse muestran una sección poligonal. Una idea del tapiz esferolítico se da en la figura 2 lámina VII. Este mismo aspecto tiene el magma de las rocas con litofisas de cerca del pueblo de Bernal, en las que el depósito secundario de sílice que cubre sus intersticios, en lugar de ser ópalo, es de calcedonia con su aspecto fibroso radiante característico.

Muy interesante nos parece al microscopio la roca gris con cavidades y litofisas de la loma de Santillán, porque en ella se pueden percibir las modificaciones que experimentan las esferolitas para transformarse en propias litofisas. El magma esferolítico, con glóbulos de 1 hasta 4 milímetros, se ve sembrado por todas partes de lagunas muy alumbradas de secciones de cristales

idiomórficos de cuarzo ó de playas irregulares, algunas con numerosas burbujas gaseosas y con numerosas tablitas de feldespato incluídas, las que parten casi siempre de los extremos de los rayos de las esferolitas inmediatas que limitan las playas de cuarzo. Tales esferolitas, de núcleo finamente fibroso y de cruz negra, se van resolviendo poco á poco hacia la periferia en aglomeración de tablitas feldespáticas que á veces aparecen sobrepuestas unas á otras, y ya desprendidas de la masa de las esferolitas, aparecen nadando en el cuarzo. Al mismo tiempo la materia opaca, las granulaciones finas, radiantes ó no, de las esferolitas, se aglomeran y forman granos más grandes que se aislan entre los intersticios de las tablitas de feldespato. Pedazos de tablitas de fayalita se ven yacer también dentro del cuarzo. Los cristalitos de feldespato tienen, como el cuarzo que los aloja, burbujas gaseosas.

De lo anterior se desprende, que ciertas partes esferolíticas modificadas por las acciones ya señaladas que determinaron la producción de pequeños cristales desarrollados libremente en las cavidades (litofisas), fueron posteriormente llenadas por el cuarzo que debió cristalizar lentamente de una solución acuosa sin producir ningún ataque á los cristalitos feldespáticos. Ni en el núcleo ni en los bordes de estas esferolitas podemos encontrar la tridymita. El cuarzo en grandes playas que llena las cavidades, es posterior á la consolidación de la roca, una verdadera silicificación producida antes que el depósito del ópalo, que cubre en definitiva los intersticios. Es probable que la sílice disuelta en las aguas, no sólo provendría del exterior, sino también haya sido tomada de las esferolitas y redepositada inmediatamente en las oquedades vecinas. Como del núcleo fibroso de las esferolitas á las tablitas sobrepuestas feldespáticas del borde, hay muy fina transición, es seguro, al menos para cierta variedad de esferolitas, que la sobreposición de tablitas bien desarrolladas de feldespato con interposición regular de granos de cuarzo, sea la verdadera estructura original, resultando así la apariencia fibrosa y la complicación y dificultad en las determinaciones ópticas de los minerales.

Ya dijimos que no sólo en la región de Cadereyta y Tequixquiápam abundan las rhyolitas con litofisas como las que acabamos de describir, las litofisas existen en todas las lavas ácidas del Bajío, ó sea en las corrientes superiores de la extensa área comprendida entre Cadereyta y la ciudad de León, (3), en la Encarnación y en los lomeríos del Sur de Aguascalientes. No nos ocupamos con toda especialidad de nuevos puntos de esta región, porque los caracteres de las litofisas, asociación y naturaleza de los minerales, es semejante; siendo de sentirse que algunas veces la alteración superficial de las rocas tiñe de rojo la cubierta cristalina de las litofisas, destruye los cristalitos, las delicadas hojas de las cavidades caen, y se aprecian menos sus caracteres comunes. Esto pasa, por ejemplo, con las litofisas de las rocas del cerro del Calvario, cerca de León (8), que vienen en una rhyolita compacta pardo-rojiza, de pasta litoide con fenocristales de cuarzo y feldespato. Las cavidades más ó menos esféricas de las litofisas, sólo se ven con una superficie cariada y á veces en el interior existe un núcleo ó un cuerpo esférico compuesto de

cristalitos bien formados radiantes de cuarzo, tablitas de feldespato y laminitas de tridymita. Suelen conservarse algunas tablitas de fayalita, granitos octaédricos muy pequeños de magnetita y un mineral oxidado no determinable. Al microscopio y en lámina delgada, la roca es muy interesante, pues que el magma vítreo que en ella domina presenta en partes la estructura peculiar eutaxítica[1] tan frecuente en las rhyolitas[2] de muchas localidades americanas.

Con esta masa vítrea alternan bandas de esferolitas, algunas ahuecadas con tapiz de cristalitos de feldespato, de tridymita y con relativa abundancia laminitas de fayalita, la que suele presentarse también en más pequeñas secciones en el resto del magma como en las litoiditas ú obsidianas de otras localidades.

Excelentes rhyolitas rojo–violadas con litofisas se encuentran en los estribos de la Sierra de Guanajuato (8), particularmente en las lomas del Bajío inmediatas á la hacienda de Chichimequillas. Se caracterizan por la delicadeza de las hojas que tapizan á las cavidades y por la claridad y perfección de la forma de los pequeños cristales de cuarzo, de tridymita y sobre todo de feldespato, los que tienen la forma ya descrita; esto es, en tablitas según la cara (010), con desarrollo de las aristas de la base, el ortodoma y ortopinacoide; pocos granos opacos se distinguen, y más raras veces las laminitas de fayalita. La roca lleva fenocristales pequeños de feldespato con reflejo azul, de los que nos ocuparemos más adelante, y el magma al microscopio muestra el aspecto normal de una pasta con poco desarrollo cristalino, en la que las esferolitas, todas de grandes dimensiones, han sufrido casi en su totalidad la modificación característica de las litofisas. Algunas cavidades muestran en el interior, como en la roca de León, un cuerpo esférico con la estructura cristalina y radiante.

Así podríamos enumerar nuevas localidades de rhyolitas con litofisas y repetir á cada paso lo que ya hemos dicho tanto en cuanto á la naturaleza y forma de los minerales como en el aspecto y estructura de la roca que las contiene. Las rocas de las pequeñas áreas rhyolíticas del Este del país, algunas llevan litofisas, como las que tienen ópalos de cerca de Zimapam y Zacualtipam en Hidalgo, las de Huayacocotla en Veracruz (3), las del cerro del Huisteco igualmente en Tasco; por último, en muchos puntos de la Sierra Madre occidental.

Vamos á tratar, por último, de las litofisas de las Navajas que vienen en dos rocas distintas y formadas en condiciones diferentes. Unas se hallan en las litoiditas, las otras en las obsidianas. Aunque las litofisas de estas últimas han sido descritas en 1876,[3] nos permitimos aquí señalar algunas particularidades que en algo completan aquella buena descripción.

En la base de la Peña del Jacal, en las faldas del cerro de las Navajas, en

1 Véase más adelante la descripción de las rocas con estructura eutaxítica.

2 Buenos ejemplares, figura Iddings, de las rocas del Yellowstone Park. Monog. XXXII, 1899.

3 Tenne.—Op. cit.

las montañas inmediatas á la hacienda del Guajolote, y en muchos otros lugares de esa parte de la Sierra de Pachuca, se encuentra la obsidiana en la forma de grandes bolas y en pedazos envueltos por una costra blanco-amarillenta de una especie de toba y de una litoidita que se separa en hojas muy delgadas con bandas alternantes de hileras de esferolitas. Este modo de presentarse de la obsidiana, en bolas, con envoltura de tobas, es frecuente en algunas localidades extranjeras, por ejemplo, en Mono Lake, Cal; las obsidianas muy límpidas de Grass Cañon, Nev., etc., E. U. Las de las islas Lipari vienen íntimamente ligadas á la pómez.

Las capitas que forman conchas concéntricas alrededor de las bolas de obsidiana de las Navajas, alternan algunas veces con capitas de obsidiana descolorida, en cuya superficie se ven las impresiones esféricas que han dejado las esferolitas aglomeradas de las capitas que las cubren. Observadas con la lente las capitas, se ve que no están fuertemente adheridas las unas á las otras, sino que hojitas muy delicadas de superficie áspera, fibras y esferolitas huecas las ligan entre sí, mostrando por lo tanto la característica estructura de las litofisas. La laminación de la roca no se interrumpe con las esferolitas huecas, indicando que éstas se han formado posteriormente al escurrimiento de la roca. La obsidiana descolorida se ve en el interior de la parte porosa, no como capitas regulares, sino más bien como una trama ó tejido, que por su resistencia de vidrio, se conserva aún en laminitas muy delgadas. La litoidita porosa esferolítica no es más que una variedad de la litoidita maciza muy laminada y con el color gris azulado de todas las corrientes de las Navajas, la que ha sufrido, como la obsidiana, una avanzada desvitrificación, como acertadamente lo ha dicho Tenne. El tejido de obsidiana en las muestras más cargadas de litofisas, aparece entonces como un simple residuo.

El núcleo interior de las grandes bolas está constituído por la obsidiana pura, sin esferolitas y sin otra segregación que las finas triquitas y las vesículas gaseosas que son características de estas rocas vítreas. Entre la costra blanca en delgadas capitas y el núcleo de obsidiana, hay una parte intermedia, constituída de obsidiana muy cargada de esferolitas macizas y huecas (litofisas) que se destacan claramente por su color blanco-amarillento, de la masa negro-verdosa de la obsidiana.

Las masas generalmente arredondeadas de obsidiana que se encuentran por todas partes en la superficie del terreno, no conservan, como es natural, la envoltura de toba y litoidita; es preciso verlas en las antiguas excavaciones hechas por los indios para extraer el vidrio con el que fabricaron sus numerosos implementos, lugares conocidos de todos los viajeros que recorren la Sierra de Pachuca.

En cuanto á los glóbulos blanco-amarillentos esferolíticos contenidos en la masa de la obsidiana, son compactos, porosos ó huecos, con la superficie áspera terrosa. Vistos en cortes muestran la estructura radiante no muy clara y sí muy marcada una tendencia á dividirse en capitas concéntricas que marcan distintos grados de compacidad de la masa esferolítica. Las conchitas con-

céntricas se separan algunas veces con facilidad, y cuando hay espacios huecos entre ellas, se ven los finos cristales de las litofisas. Como en Obsidian Cliff, entre la masa de la obsidiana y las litofisas hay la más completa separación, pues cuando un glóbulo se desprende ó se separan las hojitas de las litofisas, queda limpio el hueco con la impresión del lugar que ocupaba la esferolita en la masa de la obsidiana.

Los glóbulos esferolíticos y las litofisas de las Navajas, no son de grandes dimensiones pues generalmente tienen de tres á cinco mm. de diámetro, encontrándose raras veces hasta de 1 cm.

Por la descripción que antecede, de la forma y aspecto de las esferolitas y litofisas de las Navajas, al menos de los ejemplares que hemos podido recoger en aquella localidad, se ve que tienen una grande semejanza con las de las islas Lipari, especialmente con las de Forchia Vecchia, como parece de la concisa descripción de Iddings y Penfield.[1] En efecto, muchos de nuestros glóbulos esferolíticos se muestran compuestos de unas costras más ó menos cristalinas adheridas á las paredes de la cavidad en la obsidiana, separadas por un espacio vacío ó con delgadas hojas y un núcleo ó glóbulo esferolítico en el centro. Cuando este glóbulo se exfolia y se multiplican las capitas de la parte que se adhiere á la roca, aparecen entonces como litofisas verdaderas. Estudiados al microscopio los núcleos, se ven, como los de la obsidiana de Lipari, constituídos de una masa fibrosa y cristales aciculares radiantes y no radiantes de feldespato y laminitas y gemelos de tridymita.

A medida que el esférulo es más poroso, las fibras radiantes se resuelven en numerosos cristales, mostrándose así todos los pasos de esferolitas á litofisas. Cuando tales glóbulos han estado expuestos mucho tiempo á la intemperie, como sucede en muchos puntos de las faldas de los cerros del Oyamel y de las Navajas, el material que tapiza las cavidades de las litofisas, muestra en partes un aspecto terroso y aun parece que no han tenido un desarrollo cristalino original muy avanzado. Es muy posible que esta alteración reconozca una causa semejante á la que ha modificado las litofisas de las obsidianas de Lipari, que para Grenville Cole[2] sería un ataqne de vapores y de aguas calientes posterior á la desvitrificación original.

El estudio microscópico de la toba blanco-amarillenta revela la existencia de un producto blanco vítreo, en fibras que tienen la franca estructura de la pómez, igual al que resulta de la calcinación de una obsidiana en una mufla. Entre las fibras de pómez, ó en las masas de vidrio con numerosas ampollas aglomeradas perlíticamente, encontramos partes de esferolitas huecas con pedacitos de hojitas de tridymita y de feldespato mezcladas á las partículas de vidrio. En las partes más compactas se ven las esferolitas formadas de cristales individuales de feldespato, con laminitas de tridy-

1 Fayalite on the Obsidian of Lipari. Am. Jr. of Sc. Vol. XL, July 1890.

2 On lithophyses and hollow spherulites in altered rocks.—Q. J. G. S. Aug. 1892, Vol. XLVIII.

mita intercaladas y la litoidita, completamente desvitrificada, transformada en una aglomeración imperfectamente radiante de cristales microlíticos de feldespato, aspecto que se observa también en las capitas de litoidita intercaladas en la obsidiana negra. La película blanca adherida al vidrio en las cavidades esferolíticas parece estar formada en buena parte, de fibras cristalinas no aún disociadas y partículas de vidrio aglomeradas como en las costras ya mencionadas. Partículas cristalinas sin forma definida aparente forman la superficie rugosa de muchos de los glóbulos que llenan la cavidad esferolítica y que se ligan á veces con la costrita exterior por tenues fibras transparentes. Cuando se parten los glóbulos esferolíticos, se ve en el centro una cavidad rodeada de un tapiz de cristalitos muy frescos de feldespato, laminitas y gemelos de tridymita muy tenues, agujitas de color pardo y excelentes laminitas amarillas y transparentes de fayalita. Aquellas litofisas expuestas á la intemperie muestran la influencia de la alteración, los cristalitos no son transparentes sino blancos, amarillentos y opacos, á veces envueltos por una película de óxido de fierro. En las litofisas de mayores dimensiones se encuentran, además de laminitas de tridymita, el feldespato en tablitas aplanadas según la cara de la base y limitadas por el clinopinacoide, el prisma y un ortodoma. No escasea entre estas tablitas el macle de Manebach[1] que deja ver á veces muy clara la canaladura entre las caras muy alargadas b b'.

Por lo que dejamos expuesto se habrá notado que el estudio de las litofisas mexicanas no encierra ninguna novedad ni nada que pueda añadirse á las investigaciones ya hechas sobre esta materia en el Norte, solamente hay que notar las formas un poco diferentes de las tablitas de feldespato de algunas litofisas de Tequixquiapam y la frecuente destrucción de dichas litofisas por aguas silizosas de circulación, que han llenado las cavidades de ópalo, y han producido en raros casos pseudomórfosis. Estamos por el contrario convencidos de la identidad de aspecto, estructura y composición de las litofisas de todas partes (Estados Unidos, México, Islas Lipari, etc.), y las de la Gran Bretaña, como lo muestra Mr. John Parkinson en una reciente comunicación á la Sociedad Geológica de Londres.[2]

Asimismo se habrá comprendido que nuestras ideas sobre el origen y modo de formación de las litofisas, no se apartan de las propuestas por Iddings, y que nuestras descripciones, especialmente las de las litofisas de las Navajas, vienen de alguna manera á dar un fuerte apoyo á la teoría desarrollada por aquel sabio americano. Si se da como causa de producción de las esferolitas, la deliberación por efecto de la temperatura, del vapor de agua absorbido por el magma rhyolítico fundido, se debe de admitir que este vapor sobrecalentado, reaccionando sobre la masa esferolítica, produce las litofisas, pues la identidad de éstas con aquéllas está fuera de duda. Las litofisas no son

1 Iddings.—Seventh. An. Rep. pág. 267.
2 The hollow spherulites of the Yellowstone and Great Britain. Geol. Mag. Vol. VIII, May 1901.

más que esqueletos de esferolitas, la materia substraída de ellas se regenera en parte bien pronto, revistiendo formas cristalinas más perfectas de los mismos minerales constitutivos de las esferolitas, pues que persiste casi la misma composición química. Esta identidad de composición revela, pues, que el único agente posible de transformación ha sido el vapor de agua, como se comprueba también por experimentos de fusiones ígneo-acuosas. Para demostrar que el agente por excelencia es el vapor desprendido, Iddings funde un pedazo de obsidiana, éste se infla primero, se forman numerosas cavidades y acaba por transformarse en la pómez. Igual experimento repetimos nosotros con un pedazo de obsidiana sometido al calor de una mufla. De este modo conseguimos obtener una masa casi pumítica en fibras y partículas agregadas, como la que cubre las bolas de obsidiana de las Navajas. Menos tiempo en el calor de la mufla, un fragmento de obsidiana enteramente pura, sin ningunas inclusiones, se transformó en una masa descolorida con multitud de grandes vesículas huecas exactamente igual á la obsidiana esferolítica natural á la que se le hubieran arrancado los glóbulos esferolíticos y el tapiz cristalino de las litofisas. Obtenidas así las cavidades, queda sólo por demostrar la producción del material cristalino que las llena, para lo cual Iddings, fundándose en la igualdad de composición química de la obsidiana y de las litofisas y en la naturaleza de los minerales cristalizados enclavados en estas últimas, invoca las experiencias sintéticas, concediendo especial interés á las de Daubré y que menciona en las páginas 279-283 de su libro sobre Obsidian Cliff. Ahora, la formación de las esferolitas debe de considerarse como un fenómeno de desvitrificación, verificado de preferencia al rededor de un punto, tal como una cristalita, un grano, etc., cuando se verifica el desprendimiento del agua, y que tiene lugar durante el enfriamiento; entonces un magma más ó menos vítreo, pasa á silicatos anhidros bien definidos[1] en vía de cristalización. Aquellos vapores reaccionando, determinan en definitiva la cristalización muy perfecta de los minerales de las litofisas.

Antes de dar por terminado lo relativo á las litofisas mexicanas, vamos á considerar las rocas esferolíticas alteradas procedentes de la base de una corriente de litoiditas azuladas de cerca de la Peña del Jacal, en cuya masa blanca ó descolorida y terrosa se ven cavidades esféricas ó irregulares y esferolitas de grandes dimensiones, muy fibrosas, esponjosas ó ahuecadas, tapizadas generalmente de una materia terrosa blanca y de pequeños y numerosos cristalitos. Al hablar de estas rocas en nuestro primer estudio,[2] que supusimos inmediatas á un centro de erupción, emitimos la idea, fundándonos en la alteración de las mismas rocas, que estas cavidades y las de las esferolitas, no contenían en abundancia minerales cristalizados, y que habían sido producidas después de la consolidación de la lava por la corrosión engendrada por

1 J. Johnston-Lavis—Note on the Litophyses on Obsidian of the Roche Rosse, Lipari.—Geol. Mag., Vol. IX, 1892.

2 Primera parte, pág. 38.

vapores y gases de las fumarolas.[1] A la verdad, después de un estudio minucioso sobre muchos ejemplares de esa localidad, hemos podido confirmar aquella opinión por más que sea bastante difícil explicarse, cómo puede haber absoluta identidad entre productos formados antes y después de la consolidación de las lavas, pues nos hemos afiliado del lado de los que creen que las litofisas nacen antes de la completa consolidación. Sin embargo, este caso particular no es único, y no se opone completamente á la teoría hoy más aceptada.

El color de las rocas de que hablamos es el blanco, con cintas ó bandas muy sinuosas de escurrimiento y manchas de color gris; la parte blanca es de apariencia terrosa, las bandas y manchas grises, de superficie unida y compactas, recuerda la litoidita azulada original, aunque más silizosa. Las grandes cavidades están llenas de un producto arcilloso muy fino, blanco ó teñido en partes de amarillo por óxidos ferruginosos. La arcilla y el fierro proceden de las aguas de circulación.

Las manchas grises y blancas se asocian á veces como partes de una brecha, pero lo más general es que alternen en bandas muy sinuosas como resultado de un escurrimiento y en las que secciones circulares compactas ó porosas, también blancas, como cortes de esferolitas, se interponen desviando en apariencia el curso de la materia fluidal, fenómeno que sólo parece resultar de la descoloración que sufre la masa gris en el cuerpo mismo del esférulo blanco, pues en la superficie de algunas esferolitas completas pueden seguirse los surcos de fluidalidad á través de la masa de la esferolita. Las secciones circulares blancas son á veces compactas, otras veces porosas ó esponjosas; en su medio ó en los bordes se muestra la estructura radial fibrosa y en conchas concéntricas blancas, grises ó blanco–agrisadas. El núcleo de cada esferolita es blanco y algo más fibroso que el resto. Grandes cuerpos esféricos se separan de la masa de la roca y tienen una superficie tapizada de cristalitos lo mismo que las paredes de la cavidad. Delicadas hojitas petaloides como las de las litofisas de Obsidian Cliff, casi nunca se encuentran y por esto se asemejan más á las litofisas de la obsidiana de las Navajas. Las muchas paredes cóncavas de donde se han desprendido las esferolitas enseñan un tapiz de calcedonia azulada y de ópalo con estructura botroidal, cubriendo de una costra á los numerosos y pequeños cristalitos, produciendo á veces pseudomórfosis. Sobre este tapiz hemos visto grupos en racimos de cristalitos de cuarzo bipiramidados.

Cavidades irregulares y partes porosas en donde no hay esferolitas, tam-

1 Mucho sentimos no conocer en detalle el trabajo de Mr. John Parkinson presentado á la Geological Society of London, en el que se describe el efecto de la acción solfatárica sobre las rhyolitas del Yellowstone Park. El autor del estudio (The Hollow spherulites of the Yellowstone and Great Britain) se pronuncia como todos, en contra de la idea de que las esferolitas huecas proceden de la acción de los gases de las fumarolas sobre esferolitas originalmente sólidas. Así lo hemos entendido del extracto que hemos visto en el núm. V, Vol. VIII, Mayo de 1901 del Geological Magazine.

bién se tapizan de diminutos cristalitos y de delgadas películas que siguen las líneas de escurrimiento, indicando que las partes más duras resistieron á un ataque y sobre ellas se hizo el depósito cristalino. Observadas con atención las porciones cariadas y esponjosas de las esferolitas, se ven películas, que á través del glóbulo siguen las líneas fluidales; otras no tienen dirección determinada. Suelen encontrarse como restos de esferolitas, grupos de fibras radiantes con tabiques formando un tejido en el que se han depositado los pequeños cristales.

En las rocas blancas más terrosas el aspecto de esferolitas huecas ó con núcleo casi ha desaparecido, viéndose sólo cavidades irregulares en el interior de las cuales hay grupos de excelentes cristalitos aglomerados, y diseminados en menor abundancia en toda la superficie blanca terrosa de la roca. Como se ve, los cristalitos no sólo se encuentran en las paredes de las esferolitas ahuecadas, sino también y con profusión en esas cavidades alargadas tubuliformes de todas dimensiones, que hemos supuesto ser verdaderos canales de escape de vapores y en cuyas paredes la acción corrosiva debió ser mayor.

Algunos análisis hechos en el laboratorio del Instituto Geológico por el profesor J. D. Villarello, muestran pequeñas diferencias de composición entre la litoidita gris azulada y la roca blanca manchada de gris con grandes esferolitas macizas, huecas y porosas como las que acabamos de describir. Los análisis dan:

	Litoidita gris azulada.	Roca blanca esferolítica con litofisas.
SiO^2	70.46	72.10
Al^2O^3	11.18	10.88
Fe^2O^3. FeO	4.98	3.68
K^2O	4.28	2.80
Na^2O	4.60	4.10

Como se ve, hay un enriquecimiento de sílice en la roca esferolítica, una diminución muy sensible en la cantidad de potasa, poca en la de alumina y menos aún en la de sosa.

En la cubierta cristalina mezclada de productos terrosos ó en las paredes de las cavidades y litofisas encontramos los minerales en cantidades muy variables; por ejemplo, hay espacios tapizados casi exclusivamente de tridymita en excelentes laminitas exagonales, otros en que este mineral y el feldespato están en proporciones casi iguales. La forma dominante de los cristalitos de feldespato es la de tablitas de forma rectangular aplastadas según la cara de la base y alargadas según el clinopinacoide; las caras del prisma aparecen como pequeñas truncaduras. La fayalita es muy rara en estas litofisas y en tablitas extraordinariamente pequeñas. El cuarzo bipiramidado que viene sobre la calcedonia que cubre á algunas cavidades, lo consideramos de reciente formación, lo mismo que los cristalitos de ametista que se encuentran en algunas grietecitas de las litofisas de algunos puntos de la región de las Navajas.

Las rocas con grandes esferolitas y litofisas de que acabamos de hablar, reducidas á láminas delgadas presentan al microscopio un estado avanzado de desvitrificación de un magma micro-esferolítico. Bandas de escurrimiento fluidal muestran partes muy cargadas de finas triquitas, y envuelven ó ro dean á grandes cuerpos circulares que se reconocen como esferolitas, pues se hallan constituídos de un agregado, las más veces en forma de plumas ó arborescente, de microlitas feldespáticas. Suelen algunas traer playas intercaladas de cuarzo. Otras veces estos cuerpos esferolíticos, con estructura radiante exéntrica, muestran la agregación arborescente, enteramente igual á la de la masa interesferolítica de algunas rhyolitas del National Park (Iddings).

Rhyolitas con sanidino de reflejo azul.

Desde que tuvimos ocasión de leer la descripción microscópica de las rocas del Paralelo 40,[1] nos llamó la atención ver en las páginas consagradas á las rhyolitas, varias citas de rocas conteniendo pequeños cristales de sanidino, que muestran en cierta posición, por reflexión, un hermoso color azul comparable al que dan algunas labradoritas. Con la idea de ver producido ese fenómeno en algunos fenocristales de nuestras rhyolitas, recorrimos nuestra vasta colección, habiendo tenido la fortuna de encontrar numerosos casos en rhyolitas de diversas localidades, principalmente de los Estados de Chihuahua, de Durango y de San Luis Potosí, rocas violadas y rojizas de pasta generalmente densa y litoidica. Los cristales de sanidino son por lo regular pequeños, sea de 2 á 4 mm. de longitud, que observados en la masa de la roca con una lente simple, se reconoce desde luego que aquellos que enseñan la coloración azul son casi siempre de sección rectangular, como si estuviesen cortados según el ortopinacoide, lo que á veces se comprueba por una soldadura según su longitud, que corresponde á la de los gemelos de Carlsbad, como se ha visto posteriormente en las láminas delgadas. Dicho reflejo azul, á veces tan intenso para llamar inmediatamente la atención en los ejemplares, ha sido observado en los sanidinos de la Nevadita de Chalk Mountain y en las de otras rhyolitas del Colorado, juntamente con un lustre satinado, sedoso ó nacarado, que se produce en las mismas superficies que dan el reflejo mencionado.[2]

Las secciones al microscopio de estos feldespatos, no muestran ningunas inclusiones capaces de poderse considerar como determinantes de esa reflexión, y hubo de buscarse la causa en un estado laminar que según cierta dirección presentan esos cristales, siendo entonces comparable el lustre, al producido por reflexión de delgadas láminas de vidrio apiladas. De este modo encuentra Whitman Cross[3] en las sanidinos de las localidades citadas, una partición,

1 Zirkel.—Microscopical Petrographie of the Fortieth Parallel.

2 Iddings encuentra el mismo reflejo azulado en los sanidinos de las litofisas de Obsidian Cliff.

3 Contributions to the Mineralogy of the Rocky Mountains. Bull. U. S. G. S. 1895. Nº 20.

digamos una laminación particular, como la de un crucero según Reusch, y que es paralela á un ortodoma; por lo tanto la reflexión de estas láminas se hace principalmente visible en los cristalitos cortados en la zona del ortopinacoide. Se podría demostrar la absoluta semejanza de posición y carácter de ese estado laminar, en nuestros sanidinos con reflejos y de un completo parecido también á los que sucintamente describe Ossan de las rhyolitas de Muerto Camp en Trans-Pecos, Texas.[1]

Nos ahorraremos por lo tanto la tarea de hacer la descripción de las rhyolitas con sanidino de reflejo azul, sólo citamos aquí especialmente una muy cargada de cristales de cuarzo, de plagioclasa y sanidino en un magma bastante cristalizado, del Santuario en la ciudad de Durango (17), una rhyolita axiolítica alterada de la Sierra del Oso, Partido de Indé (18). Las rocas alteradas de la Sierra del Pabellón (Ojinaga, Chih.) (20). Las rhyolitas pardas de la Sierra del Sacramento (Iturbide, Chihuahua) (20) no tienen más fenocristales que los de sanidino, y son de estos muchos los que tienen el reflejo pavonado. Las del Cerro Grande en el Zápuri, se caracterizan por la pureza y frescura de las secciones de sanidino en gemelos de Carlsbad y sin más inclusiones que pequeñísimas burbujas gaseosas.

Por último, una rhyolita gris violada bastante vítrea y con litofisas, de la Presa de Santa Isabel, en la hacienda de San Pedro (Mun. Reyes, San Luis Potosí) deja ver en su magma cristalitos rectangulares de sanidino con reflejo, en superficies escamadas, como si se tratase de un verdadero crucero.

Una mención muy especial debemos hacer de una hermosa rhyolita rojo-pardusca de la Sierra de Nancititla, entre Tejupilco y Huetamo (7), casi una felsonevadita, notable por la gran cantidad de cristales de cuarzo ahumados, diseminados en la pasta de la roca y casi con igual abundancia, cristalitos hasta de 5 mm. de longitud, de sanidino con magnífico reflejo sedoso ó satinado, tan intenso como el que puede dar la mica blanca, con la que al primer golpe de vista se confunde. Con una lente se observa que en las superficies que dan ese intenso lustre en cierta posición, muestran excesivamente claros los característicos cruceros. Es curioso que en láminas delgadas estos cruceros se vean muy claros y juntamente con ellos la delicada partición que observa Cross, según el ortodoma positivo. En fácil también observar que no sólo es una simple partición suceptible de compararse á un crucero, sino que también, según ella, existen hileras de numerosas y pequeñas cavidades gaseosas, algunas alargadas como líneas. Nosotros creemos que á esa especie de pseudo-crucero, como piensa Cross, se debe el lustre satinado, aumentado considerablemente por las pequeñas cavidades según aquellos planos. Quizá la abundancia excepcional de dichas cavidades en la roca de Nancititla, origina el lustre tan intenso, no comparable con el que muestran los sanidinos con reflejos que hemos visto descritos hasta ahora.

1 Report on the Rocks of Trans-Pecos, Texas. Fourth An. Rep. Geol. Surv. of Texas.

Rhyolitas con magma micropoikilítico.

Entre los variados aspectos de estructura que nos presenta el magma de las rocas ácidas microlíticas, debe señalarse específicamente el que ha sido designado por Williams con el nombre de estructura *micropoikilítica*, que ha sido reconocida ya en el magma de suficiente número de pórfidos cuarcíferos y de rhyolitas para poderse considerar como característica. En algunas de las descripciones que anteceden la hemos mencionado varias veces. La circunstancia de presentarse dicha estructura asociada frecuentemente á magmas esferolíticos en rhyolitas mexicanas y los numerosos pasos que existen entre ambas formas de cristalización simultánea, nos permiten considerar la estructura micropoikilítica con algunos otros autores, como una variante de la estructura esferolítica.

Mr. Williams[1] nos da una suficiente definición de esta estructura, que conviene justamente á la que nosotros hemos encontrado con más frecuencia. Sin embargo, ofrece aspectos un poco variados según resulta de otras descripciones que nos son conocidas. Esa definición se puede expresar como sigue: Areas constituídas de individuos comparativamente grandes de un mineral, dentro de las cuales se encuentran, en más ó menos abundancia, granos y cristales de otros minerales, pero en los que la orientación óptica no es uniforme para todos, ni tampoco corresponde á la de las grandes áreas cristalinas que los contienen. De esta manera dicha estructnra no se asemeja á la microgránítica, ni tampoco á la pegmatítica, y de aquí le viene su especialidad. Nuestra forma más común, observada por ejemplo en las rhyolitas de Temascaltepec (5), en las del barrio de Analco y cerro del Mercado en Durango (17), y en muchos otros lugares, es la de playas irregulares de cuarzo, diseminadas en un magma más ó menos cripto ó microcristalino; dentro de cuyas playas, cuando están alumbradas á la luz polarizada, se ven playitas de forma irregular que dejan pasar menos luz, que se alumbran y se extinguen por grupos ó indistintamente al girar la platina del microscopio. Nuestra fig. 5 de la lám. VIII da una idea de estas playas que recuerdan, cuando son de pequeña dimensión, la estructura del cuarzo esponjoso de Mr. Fouqué, pues es de hecho una esponja de cuarzo la que envuelve á las playitas ó granos que á veces son fácilmente reconocibles como de feldespato. Este aspecto esponjoso es muy claro en las rhyolitas grises rosadas de la Bufa de Zacatecas (14) y en algunas rhyolitas de color claro de Curucupaseo en el Estado de Michoacán. Cuando las partículas incluídas son muy pequeñas, aunque se supone por analogía que son de feldespato, no es posible reconocerlo como

1 G. H. Williams. —On the use of the term poikilitic and micropoikilitic in Petrography, Journ. of Geol. Feb. March, Vol. I, 1893. Véase también: H. E. Gregory. Contribution to the Geology of Maine, Geology of the Aroostook volcanic area. Bull. U. S. Geol. Survey Nº 165, 1900.—J. P. Iddings. Eruptive rocks of Electric Peak and Sepulchre mountain. Twelve An Rep. U. S. Geol. Survey, 1891–92.

tal; entonces el cuarzo adquiere aun á fuertes aumentos una forma arborescente ó como de copos de hielo, muy parecida á la que encuentra R. D. Irving en los pórfidos felsíticos del Lago Superior.[1] Con frecuencia vemos también en las rhyolitas de cerca de la Peña del Zumate, Real del Monte (1), las áreas de cuarzo arredondeadas y formadas de partes con tosca estructura radiante, como rosetas del tipo del cuarzo globular.[2] En otra parte hemos hablado de cómo tales rosetas pasan á verdaderas esferolitas, compactas ó porosas, y cómo estas últimas se desagregan en sus bordes y se resuelven en finas laminitas de feldespato que aparecen incluídas dentro de grandes playas de cuarzo ó de lagunas irregulares de cuarzo micropoikilítico, lo mismo que en las rhyolitas del Yellowstone Park (Iddings).[3]

Un magma micropoikilítico como materia interesferolítica es muy característico en la rhyolita de San Miguel de Allende (8); el cuarzo está en la forma de barritas entrecruzadas y entretejidas con barritas de feldespato diferentemente orientadas, fig. 6 lám. VIII. Algo se aproxima esta forma á la que con mucha frecuencia se ve en los pórfidos cuarcíferos y en algunas rhyolitas como continuación del crecimiento de cristales de cuarzo de primera consolidación.[4]

Volviendo á las playas micropoikilíticas que pasan á esferolitas radiantes comunes, debemos insistir sobre la desagregación que sufren tales esferolitas dando cristales de feldespato en tablitas de forma rectangular, embutidas dentro de grandes playas de cuarzo. Playas micropoikilíticas de forma irregular pasan también insensiblemente al desarrollo perfecto de tablitas de feldespato en el cuarzo, especialmente características en rocas conteniendo litofisas. Este hecho parece interesante en cuanto al momento de formación de la estructura de que hablamos, pues es indudable que existe una relación entre la formación de las litofisas y la del magma micropoikilítico, más perfecto y más bien desarrollado en México, en las rocas con litofisas, que en rhyolitas menos esferolíticas ó litoidicas. La roca de la Loma de Santillán (4) en Tequixquiapam (con litofisas) y la rhyolita del cerro del Almagre (ciudad de Durango) (17) muestran pasos sucesivos bien reconocibles, de fino tapiz arborescente micropoikilítico, á grandes playas de cuarzo límpido y en contacto con esferolitas de bordes desagregados con bien individualizados cristales tabulares de feldespato.

Por último, en algunas de las rocas mencionadas arriba, entre las lagunas micropoikilíticas distribuídas en el magma microcristalino ó cubriendo espacios entre las esferolitas, vemos una forma muy curiosa de cuarzo que llama-

1 R. D. Irving.—The copper bearing rocks of Lake Superior. Monog. V. U. S. Geol. Survey, p. 99, 1883.

2 M. Levy.—Structure et classification des roches éruptives, pág. 21, 1889, Paris.

3 Monog. XXXII, pág. 421.

4 W. Clements.—Volcanics of the Michigamme District of Michigan. Journ. of Geol. Vol. III, 1895.—The Chrystal Falls Iron bearing Dist. of Michigan, Volcanics of Hemlock formation. Monog. XXXVI, 1899.

mos *vermiforme* y que consiste de cintitas angostas de este mineral muy sinuosas, contorneadas, de bordes finamente dentellados, que se extinguen uniformemente en toda su longitud y varias á un tiempo. Esta circunstancia y la de aparecer con frecuencia al rededor ó en el medio de las playas micropoikilíticas, sugieren inmediatamente la idea de que este cuarzo vermiforme es el resultado de la soldadura de varias partes de la esponja de cuarzo. En ciertas preparaciones se ve este cuarzo tan íntimamente asociado al magma micropoikilítico, que excluye toda tentativa de considerarlo como un producto secundario en relación á aquella estructura.

La fig. 1 lám. IX es una representación de esta forma de cuarzo, que tiene la rhyolita de la falda Sur del cerrito del Almagre (Durango).

En resumen; la asociación de la estructura micropoikilítica á la esferolítica es casi constante; en nuestro concepto se debe considerar la formación micropoikilítica del cuarzo y feldespato como un caso particular de la estructura esferolítica con la que la ligan tan grandes afinidades como acabamos de ver, y que sin duda reconocen la mayor parte de los que han descrito y figurado la estructura micropoikilítica de Williams.

Es de notar que en las muestras con la estructura de que hablamos es muy común la estructura fluídea, y que dentro de las áreas micropoikilíticas se encuentran con frecuencia triquitas y granos de óxido negro de fierro, restos de láminas de biotita y aun productos verdes ó pardos de descomposición.

Si en muchos casos suponemos que la estructura micropoikilítica se relaciona con las litofisas, el momento de su formación es por lo tanto anterior al de la completa consolidación de las lavas y aun contemporánea de la formación esferolítica. En raros casos es posible suponer que es un producto secundario, pues una penetración de cuarzo en una masa poco densa ó poco consistente rhyolítica, podrá revestir una forma esponjosa ó micropoikilítica como en el ejemplo que damos de la Bufa de Zacatecas.

La micropegmatita.

Varias veces hemos citado accidentalmente fenocristales de feldespato probablemente de sanidino, que llevan en su interior, distribuídas con más ó menos regularidad pero siempre con uniforme orientación, playitas de cuarzo, reproduciendo la forma micrográfica qne ofrecen frecuentemente las rocas graníticas. Que este desarrollo simultáneo de cuarzo y feldespato se ha efectuado en las rhyolitas durante la primera consolidación, se comprende fácilmente, porque casi siempre se conservan los contornos del cristal principal, que es generalmente el feldespato, el que suele llevar las mismas inclusiones que los fenocristales simples. No es muy raro sin embargo encontrar ejemplos en que la forma del cristal es menos clara, y este es el caso para la roca esferolítica del cerro de Azoyatla (fig. 2 lám. IX), cerca de Pachuca, en la que el tamaño comparativamente grande de las playas de cuarzo, no deja ver

claros los contornos del cristal. También hemos visto la plagioclasa con cuarzo en la forma micrográfica entre los fenocristales de una roca de Zacatecas.

Pero no sorprenden tanto estos casos de cristalización simultánea de fenocristales, cuanto el hallazgo de la micropegmatita en el magma de última consolidación, en condiciones que en sumo grado favorecen la idea del parentezco de estructura que se supone existe entre ésta, las esferolitas y el magma micropoikilítico. Una sola roca, la de la hacienda de Chicavasco, cerca de Actopam, de color blanco manchada de rojo anaranjado, presenta al microscopio, entre un magma criptocristalino con estructura de escurrimiento, granulaciones amarillentas y triquitas, lagunas circulares, incoloras, finamente granulares en el centro y delicadamente fibrosas en los bordes, que bien pronto se reconocen entre los nicols cruzados como esferolitas que conservan en la periferia la estructura finamente radiante y la cruz negra, pero en cuyo centro el carácter fibroso se sustituye por un agregado granuloso microcriptocristalino y por lo tanto de muy débil doble refracción, en cuyo seno se ven manchas arredondeadas de cuarzo y feldespato en preciosa estructura micropegmatítica, de la que damos el ejemplo en la fig. 3 lám. IX tomada de una excelente fotografía. El cuarzo se halla en la forma de pequeñitas cuñas que, unidas á veces por sus ángulos, dan una forma muy curiosa arborescente y radiando de un centro como esferolita.

En el núcleo y cerca de los bordes de las esferolitas se ven playitas de cuarzo límpidas, y en el magma de la roca laminitas alteradas de biotita y agujitas de hornblenda.

Alrededor de algunos cristales primarios de cuarzo con penetraciones del magma, se ve una auréola ancha de la misma micropegmatita. En las esferolitas más pequeñas que trae la roca, sólo un pequeño núcleo en el centro muestra el estado granuloso, y el resto, la estructura finamente radiante común, con partículas opacas ordenadas también radialmente.

Litoiditas.

Casi el simple aspecto macroscópico de algunas rhyolitas permite distinguir y considerar con cierta independencia esta variedad, pues como es bien sabido se caracteriza en las rocas ácidas, simplemente por la rareza ó ausencia de elementos de primera consolidación. Esto coincide naturalmente con un aspecto homogéneo y uniforme de la masa de la roca, con una estructura más común en lajas, con una división columnar más ó menos perfecta en el terreno, y por último, en algunos casos, con un ligero lustre y textura imperfectamente conchoide que sería el que correspondiese á las verdaderas litoiditas. Su asociación con las rhyolitas propiamente dichas es tan constante, que no ha habido lugar á separarlas formando un grupo aparte, sino simplemente como una variedad de ellas. Así las consideran Hague é Iddings[1]

1 Hague é Iddings.—Notes on the volcanic rocks of the Great Basin. Amr. Jr. of Sc., Vol. XXVII, June, 1884.

y con ellos otros autores; microscópicamente el magma de las litoiditas tiende más á una segregación cristalina, que á una masa vítrea.

En nuestra primera parte[1] hemos hablado de la estructura en lajas y columnar de la litoidita gris azulada del cerro de las Navajas (1), la roca dominante de aquella extensa área rhyolítica, que presenta al microscopio una composición y cristalinidad muy constantes. Una base vítrea muy escasa, pobre de segregaciones triquíticas, sirve de cemento á secciones pequeñas irregulares ó rectangulares, en su mayoría de feldespato, con algunas laminitas y barritas de un mineral de fuerte dicroísmo y de color azul verdoso que se podría confundir con la mica á no observar que son partes diseminadas de antiguos cristales prismáticos que Tenne[2] refiere á la hornblenda, y quizá más que á eso á una piroxena alterada, pues que el ángulo de extinción de las secciones prismáticas alcanza hasta 43°. En este magma hay algunos cristales chicos de sanidino en macles de Carlsbad y playas irregulares de un cuarzo con numerosas inclusiones de barritas del mineral verde citado, burbujas gaseosas y partículas que no suponemos ser de vidrio, como dice Tenne, sino de feldespato, en número bastante para dar á este cuarzo la estructura micropoikilítica. Cuando estas rocas presentan además desarrollo esferolítico en el magma y ausencia completa de fenocristales, la estructura micropoikilítica es más acentuada. Otra forma no menos frecuente del magma de estas litoiditas es la de agregación de playitas de feldespato en mayor abundancia que de cuarzo; el feldespato se halla generalmente en playitas rectangulares con la forma común de las microlitas de sanidino, ya diseminadas sin ordenación, ya alineadas fluidalmente ó radialmente en la forma esferolítica. Es sin duda esta última variedad de la que Tenne dice que se debe de considerar como una traquita. Fig. 4 lám. VIII.

Este aspecto microscópico es mucho más frecuente en las rocas que están cerca de las bolas de obsidiana y en las capitas delgadas de litoidita gris que se hallan intercaladas entre capitas de retinita parda ú obsidiana. Es, pues, un ejemplo muy claro de desvitrificación de la obsidiana negra y de la retinita parda.

Un promedio de varios análisis de estas litoiditas dió los resultados siguientes:

$Si0^2$	70.46
$Al0^3$	11.18
Fe^20^3	4.98
K^20	4.28
Na^20	4.60

En las varias corrientes de rhyolitas que yacen sobre las traquitas y andesitas con vetas auríferas del Mezquital del Oro,[3] Zacatecas (11), abundan

1 Boletín núm. 14.

2 Tenne. Op. cit.

3 E. Ordóñez.—Informe sobre el Mineral del Mezquital del Oro. Bol. de Agricultura y Min. 1894, nº 10.

las rhyolitas litoides en el borde de algunas de esas corrientes, ó en la forma de diques cortando á las mismas rhyolitas.

Una de las más interesantes, que se presenta en grandes acantilados enfrente del arroyo del Mezquital, es de color rojo–obscuro con muy pocos cristales muy pequeños, blancos, diseminados en la masa y con ordenación fluidal. En el microscopio se descubre una bien marcada estructura fluidal formada por regueros de granulaciones ferruginosas concentradas en el residuo de materia vítrea que rodea á la parte del magma criptocristalino que polariza débilmente por la pequeñez de los granos cristalinos que la forman. En la misma luz polarizada se advierte en las preparaciones una red de partiduras llenadas de cuarzo y feldespato. Algo se asemeja esta partición á una división perlítica, y que parece que se produjo antes de la consolidación definitiva de la roca. Tales partiduras que se ven muy claras en la lám. IX fig. 5, no atraviesan á los pequeños y escasos cristales de sanidino y plagioclasa que ocasionalmente se interponen.

Algo se asemeja esta roca á la del Norte de Wadsworth, Nevada, descrita y figurada por Zirkel.[1]

En ciertas partes de los acantilados del Mezquital, las litoiditas pasan del rojo obscuro al rojo claro y rosado, en las que el microscopio muestra una mayor cristalinidad del magma reconociéndose ya las partículas de feldespato y de cuarzo; las granulaciones ferroginosas están menos ordenadas fluidalmente y accidentalmente se encuentran pequeños cristales de hornblenda reabsorbidos. De esta manera se obtiene un magma enteramente uniforme en que apenas se notan indicios de fluidalidad. Este es el aspecto microscópico de las litoiditas en diques de color rosado y gris amarillento frecuentemente penetradas de cuarzo secundario.

En la Sierra Madre Occidental abundan por todas partes las litoiditas, por ejemplo en la cima de la Sierra de Alica (Territorio de Tepic). En el camino de Jora á Huajimic (Nayarit) (15) litoiditas muy densas, rojizas, de estructura conchoide, de magma amorfo globulítico y finamente polarizado, constituyen el tipo de las rocas dominantes de varias corrientes denudadas.

Violadas ó rojas, compactas y en lajas, vemos las litoiditas cerca de Guadalupe Ocotán (Nayarit), en las montañas de Acaponeta, sobre el camino entre Durango y Mazatlán, cerca del Parral en Chihuabua, y en tantos otros puntos de aquella Sierra Madre que sería muy largo enumerar.

Además de las rhyolitas comunes de las Bufas, muchas de ellas esferolíticas, la región de Zacatecas (14), en la parte alta de muchos de sus cerros, hay litoiditas que fácilmente se pueden ver porque forman acantilados de poca altura, y en los cuales la roca se halla en lajas horizontales ó más ó menos inclinadas; á veces los afloramientos de litoiditas son tan angostos que parecen diques, y por último, algunas de las vetas minerales dan crestones de litoiditas rojas muy impregnadas de cuarzo.

1 Zirkel.—Microsc. Petrog. Fortieth Parallel.

Las litoiditas en el primer caso proceden de corrientes muy destruídas por la erosión, tanto que en partes sólo aparecen como verdaderos casquetes en la parte superior de los cerros, y muchos de estos proceden de una sola corriente. Estas rocas han escurrido sobre superficies ya muy avanzadas en denudación. Aunque de lugares muy diferentes, las litoiditas del Mineral de Zacatecas tienen entre sí una gran semejanza y se caracterizan por la modificación que han experimentado posteriormente á su enfriamiento, y que consiste esencialmente en una avanzada silicificación que llega á veces hasta hacer desaparecer el carácter primitivo de la roca. Coincidente con este fenómeno se produjo en la masa de estas rocas una desvitrificación, en la que han intervenido indudablemente acciones dinamo-génicas mucho más sensibles en las otras rocas eruptivas de esta región.

Las litoiditas de Zacatecas son de color blanco amarillento, gris y rojo, muy duras y compactas, muy raras veces con bandas de diverso color, y por lo tanto, sin marcada estructura fluidal, aunque están divididas en lajas. En el microscopio el magma se resuelve en un agregado casi compacto de partes polorizantes en pequeñas secciones irregulares de cuarzo, otras de sección también irregular ó de forma rectangular presentan los caracteres del feldespato monoclínico en cristales microlíticos, indudablemente el sanidino; la materia amorfa queda en pequeña cantidad y como residuo intersticial. Pero esta pasta microlítica y amorfa es el cemento de un gran número de playas irregulares de cuarzo micropoikilítico en barritas ó rosetas que indudablemente forman un tejido que aprisiona á partículas de feldespato. Este cuarzo en tan gran abundancia no cabe duda que es un producto secundario, porque mucho se asemeja á las playas de este mineral alotrimorfas y tienen como aquellas gran número de vesículas gaseosas y abundantes inclusiones líquidas con burbuja movil. El cuarzo secundario micropoikilítico parece haber entrado produciendo una verdadera sustitución, un caso de metasomatismo, pues aun los rarísimos cristales primarios de sanidino se hallan en parte sustituídos por este cuarzo. Cuando hay esferolitas, lo que sucede raras veces, se hallan también penetradas de cuarzo, el que les forma una auréola dejando el núcleo esferolítico intacto. La pasta de las litoiditas tiene pocas granulaciones opacas. Los minerales accesorios que con ellas se encuentran, son, una mica alterada en playas grandes y en parte reabsorbida, muy raros cristales de hiperstena y algunas agujitas de apatita, secciones de fierro negro y á veces granos de pirita.

Las litoiditas que acabamos de describir vienen principalmente de los cerros del Gil, del Cerro Caliente y del Frijol, del Cerro de Noche Buena y del cerrito de Mata Pulgas, de la Nueva Valenciana, del Grillo y de la Calavera.

Algunas de estas rocas podrían compararse por su estructura y posición en relación con las demás rocas del terreno, con la litoidita del dique de San Esteban,[1] en el Real del Monte.

1 Bol. del Inst. Geol. de México. Núm. 13, pág. 33.

Fuera de estos casos especiales que acabamos de citar, poca cosa tenemos que agregar del gran número de litoiditas mexicanas, porque como es natural, en este grupo de rhyolitas, su magma al microscopio es casi siempre uniforme micro ó criptocristalino, raras veces llevan accidentalmente laminitas de mica ó de hornblenda primaria y pocas granulaciones opacas. Varían quizá más por su aspecto macroscópico. Algunas litoiditas típicas blancas ó rosadas, aporcelanadas, vienen del Cerro de San Ignacio de la Bufa, cerca de Guanajuato (8), otras compactas y macizas, uniformemente grises ó pardas se hallan en Oputo (Distrito de Moctezuma), en Sonora (22), las del Cerro Mercado en Durango (17), las de Calamahí en la Baja California que traen algunos muy pequeños cristalitos de sanidino en una pasta bastante vítrea, la de la Hacienda de Bledos (Partido de Santa María del Río), San Luis Potosí (10), con una curiosa estructura en circunvoluciones ocasionadas por los regueros de partículas pardas y manchas circulares de las mismas partículas, que indican un principio de formación esferolítica, fig. 6, lám. IX; la gris violada de aspecto brechoide de la Hacienda de San Gregorio y el Valle de Allende (Chihuahua), (19), la de la base de las corrientes de rhyolitas con litofisas en la región opalífera de la Trinidad, la de las lomas al W. de Tequixquiápam, que se carga de muchos cristales microlíticos de sanidino, lo que la asemeja algo á una traquita.

Más hermosas son las litoiditas jaspeadas que se encuentran en el cerro del Ocote, en las cercanías de Tula, Hidalgo (3), que á la simple vista muestran con su estructura conchoide, banditas muy sinuosas de diferentes tonos, pardo rojo y gris, que son el efecto del escurrimiento. Parecido aspecto exterior tienen las del Puerto de Plata en el mineral de San Felipe Torres Mochas, Estado de Guanajuato (9), algunas de cerca de Cadereyta, en Querétaro (4), muy esferolíticas y las del Cerro de Chichíndaro.

Litoiditas bastante vítreas de color violado intenso, conchoides y de lustre de cera, vienen en delgadas corrientes en Acacico, cerca de Yahualica, en Jalisco (11), con un magma axiolítico de los más característicos. Cerca de San Miguel de Allende (8), una litoidita de color amarillo sucio manchada de rojo y con lustre como la anterior, tiene también un verdadero tejido de axiolitas en el magma y en partes presenta un notable parecido con la litoidita de Black Rock Mountains en Nevada.[1]

Damos á continuación los análisis[2] de algunas de las litoiditas anteriormente mencionadas, de aquellas que nos han parecido más típicas; el número I de la Trinidad, el núm. II de la Hacienda de San Gregorio, núm. III de Chichíndaro, núm. IV del Cerro del Ocote, núm. V de Acacico, y para comparar, damos el núm VI de la litoidita azulada de las Navajas.

1 Zirkel.—Microscopical Petrography.
2 Análisis hecho en el Laboratorio del Inst. Geol., por el Prof. J. D. Villarello.

	I.	II.	III.	IV.	V.	VI.
SiO^2	71.46	71.68	70.52	74.92	81.50	70.46
Al^2O^3			11.00	10.25		11.18
Fe^2O^3			1.80	1.60		4.98
K^2O	2.36	2.70	4.00	4.30	1.47	4.28
Na^2O	4.32	4.50	4.10	4.48	1.56	4.60

Exceptuando las rocas de Acacico, llama la atención en el cuadro anterior la constancia de la proporción de Na^2O.

Una litoidita jaspeada de Analco (ciudad de Durango), de distintos tonos de pardo muestra, sin cambiar la textura de la roca, bandas circulares de esferolitas opacas. El análisis de esta roca dió:

SiO^2	72.20
K^2O	3.88
Na^2O	4.11

Rhyolitas alteradas.

Las rhyolitas en general son resistentes á la descomposición ó alteración por los mismos agentes que en otras especies de rocas determinan modificaciones más ó menos intensas; por lo tanto, de ordinario las rhyolitas están frescas aun en la superficie del terreno, y en los casos en que por condiciones especiales han sufrido alteración, conservan siempre su aspecto de rocas no alteradas.

Sin embargo, podemos señalar dos clases de modificaciones que ofrecen las rhyolitas, dos distintos géneros de alteración á veces observados simultáneamente; la una es la determinada por los agentes atmosféricos; es generalmente débil y consiste en la transformación más ó menos avanzada del magma en un producto arcilloso, penetración de calcita en la forma de venillas y un principio de pseudomorfosis de los feldespatos en calcita. Estos cambios coinciden con un cambio de color que se verifica sólo á algunos centímetros de la superficie de la roca.

Tan poco intensas mutaciones pueden muy bien dejarse á un lado y estudiar solamente las alteraciones producidas por agentes más enérgicos y que producen metasomatismos, es decir, cambios marcados en la composición química de la roca y avanzadas pseudomorfosis. Este fenómeno se produce, en los casos que nosotros conocemos, por la acción de aguas calientes de circulación y que llevan á las rocas compuestos en disolución como la sílice, que se deposita en la forma de cuarzo alotrimorfo en las grietas y hendeduras, de cuarzo granudo y á veces esponjoso (micropoikilítico) en el magma por sustitución de partes de dicho magma y también en los feldespatos primarios de las rhyolitas.

Naturalmente dicha acción hidrotermal que se traduce como hemos dicho en una *silicificación*, es casi constante en nuestras regiones rhyolíticas veci-

nas á distritos mineros con vetas en cuya matriz entra el cuarzo como elemento esencial, pero es curioso que no siendo las rhyolitas las rocas empotrantes de esas vetas presentan en algunas partes bastante lejanas, los mismos cambios que las rocas de los respaldos de las vetas y sin experimentar una mineralización ó depósito de otros minerales á más del cuarzo.

Ya hemos visto también cómo la acción hidrotermal puede depositar el ópalo en los huecos é intersticios de la parte superficial de corrientes de rhyolitas como en Tequixquiápam; en Tepezalá, de la Sierra de Pachuca y el semiópalo en muchas rhyolitas de la Sierra Madre Occidental, en las que ha habido otros fenómenos complejos y obrado causas más profundas; tales son las sublimaciones, que han dado como producto el estaño y la hematita de tan profusa distribución en toda la Sierra, ó como el topacio en las rocas silizosas de Canoas, en San Luis Potosí. Aquí sólo hablamos de la silicificación como el fenómeno más constante y más intenso, y de ello dan pruebas las muchas citas que encontramos en las descripciones de rhyolitas en la ya extensa bibliografía. Por la especialidad del caso, la amplitud de la descripción y semejanza con las que nosotros podemos exhibir, níngún estudio más á propósito tenemos para esa comparación, que el de M. Lindgren[1] sobre la alteración hidrotermal de las rhyolitas en las regiones mineras de De Lamar y Florida Mountain. Aunque allá las vetas en parte armen en estas rocas, la alteración se manifiesta á distancias bastante grandes de las vetas, como sucede en la mayor parte de nuestros casos.

Sería muy cansado repetir para cada región, la descripción completa de nuestros ejemplares de rhyolitas alteradas, en vista de la semejanza que ofrecen entre sí; es preciso casi concretarse á la simple mención.

Sigamos por ejemplo algunas localidades de la región montañosa del W. de la República. En los acantilados rhyolíticos y apófisis del Mezquital del Oro (Juchipila, Zacatecas) (15), hay rocas de color rosado y algo porosas que al microscopio dan un tapiz de cuarzo alotrimorfo y granudo secundario que destruye en parte el magma cristalino original; las cavidades de estas rocas están tapizadas de una auréola de materia radiante de débil polarización, alargadas á veces en forma axiolítica; la materia principal de esta masa algo fibrosa es el ópalo y la calcedonia. Restos de cristales primarios de hornblenda y de mica coloran la roca, pues estos minerales desagregados y el fierro rojo quitan la limpidez de las preparaciones.

En la región minera de Hostotipaquillo, de Cabrera, Castellana, en las márgenes del río de Santiago, en el Nayarit y Mineral del Zopilote (Jalisco y Tepic), etc., (15 y 16), abundan las rhyolitas silicificadas, grises, violadas y rojas, con ó sin estructura fluídea manifiesta. Raras veces estas rhyolitas forman los respaldos de las vetas como en la mina de Cabrera, en la Yesca ó en

1 The gold and silver veins of Silver City, De Lamar and other Mining Districts in Idaho Twentieth Ann. Rep. U. S. Geol. Survey, Part. III, 1900. The Mining Districts of Idaho Basin, etc., Eighteenth. Ann. Rep. U. S. Geol. Survey, Part. III, 1896-97.

San Sebastián, ó como en algunas vetas de Guanajuato. El cuarzo secundario viene en estas rocas en venillas, penetra á las esferolitas feldespáticas, sustituye la masa de los sanidinos primarios y de algunas plagioclasas con macles de la periclina. Algunos de estos feldespatos no han sufrido alteraciones, pero en otros el cuarzo penetra en su masa en la forma de playitas, y hay muy pequeñas hojitas de mica verde como producto de la alteración. Entre estas rhyolitas silicificadas algunas vienen en diques.

Sucede frecuentemente que además de la penetración del cuarzo, partes del magma se ven transformadas en calcita como una pseudomorfosis y más generalmente como un relleno intersticial ó en venillas. Tal se ve en algunas rhyolitas de Indé y Sierra del Oso, en Durango, que como las del Mezquital, tienen intersticios alargados cubiertos de ópalo y calcedonia en formas axiolíticas. En las rocas de la Sierra de Candela, notablemente frescas, el cuarzo granudo y esponjoso se distribuye con profusión en el magma criptocristalino. Los feldespatos primarios no presentan ninguna alteración.

En los minerales de Jesús María y Cusihuiriáchic (20), (Chihuahua) se encuentran ejemplares muy interesantes, porque el cuarzo secundario granudo empasta casi enteramente á la roca, de la que sólo se conservan pedazos de esferolitas, sin perder su estructura radiante, pero en partes esta materia se ha sustituído por cuarzo.

De las regiones mineras del interior del país, los casos de silicificación de las rhyolitas no son menos numerosos. En Casahuates y el Cerro del Huisteco, junto á Tasco (5), en Guanajuato (8), en la Cañada del Monte á Sirena, en el Cerro de la Cruz de Pachuca (2), y otras numerosas litoiditas y rhyolitas de la Serranía de Zacatecas (14).

Hay otro género de alteración en las rhyolitas que no por ser menos frecuente deja de ser muy importante y de más difícil interpretación. Consiste esencialmente en una transformación del magma en una materia terrosa ó arcillosa que podría muy bien resultar de una especie de trituración por presiones considerables ocasionadas en movimientos tectónicos. Los elementos de primera consolidación de las rocas, tales como el cuarzo y el sanidino, se agrietan profundamente por efecto de los mismos movimientos, y el último de estos minerales sufre á veces una completa transformación en arcilla y más que en esto en un producto que mucho se asemeja á la serisita; la calcita y el cuarzo suelen encontrarse también incrustados en esta masa y por último raras veces agujitas de epidota. Estas modificaciones se verifican por lo regular en partes profundas, en las rocas extraídas de las minas y tienen por lo regular un tinte gris ó verdoso, pues los minerales ferromagnésicos (augita, hornblenda ó mica), no se ven alterados en productos ferruginosos, sino en una materia verde cloritosa, límpida ó fibrosa, diseminada en el magma.

Esta alteración es muy clara en rhyolitas de Tasco, en las del mineral de, Tlaucingo (Puebla), en las rhyolitas con oro de inclusión de la Yesca (Tepic) en Guadalupe y Calvo (19), Chihuahua, etc., etc.

No podemos precisar qué otras influencias extrañas corroboran á la des-

composición, ni cuál deba ser la naturaleza de las aguas en circulación, ni qué papel han desempeñado las rocas vecinas, tales como las andesitas verdes con las que están asociadas.

Rhyolitas vítreas.

Retinitas.

En casi todas las regiones rhyolíticas de México, junto con las rhyolitas propiaments dichas, se encuentran rocas vítreas, unas veces en delgados lechos intercalados en las corrientes, bien en masas irregulares, por decirlo así, enclavadas, ó por último, en la forma de diques. Es indudable que tales rocas vítreas, con la misma composición química que las rhyolitas que las contienen, provienen de partes muy rápidamente enfriadas de los magmas, y como dice Rosenbusch, con cristalización más ó menos avanzada, anterior al período de efusión.

Rocas microlíticas de diferente composición, conservan partes de su masa en estado vítreo, en parecidas condiciones de aspecto y estructura, de tal manera que sólo el análisis químico es capaz de indicar á qué grupo de rocas pertenece; tal es el caso principalmente para las andesitas y rhyolitas vítreas. Cuando como á nosotros faltan análisis químicos suficientes, tendremos que concretar nuestras citas sólo de las rocas vítreas que hemos visto asociadas á las rhyolitas.

Es de un uso general dividir el grupo de las rhyolitas vítreas en dos: las retinitas ó piedra pez, y las obsidianas; las primeras se distinguen por un contenido de agua mayor que las segundas, por un lustre particular resinoso y porque tienen de ordinario mayor número de segregaciones cristalinas, ya sea cristales completos ó incipientes. Hay además un carácter que casi es esencial para las retinitas y que consiste en una división ó partimiento que se ha producido al fin ó después de la consolidación de la roca y que tiende á separarla en glóbulos más ó menos perfectos. Esta estructura llamada perlítica, puede ser muy bien, como algunos piensan, el resultado de la deliberación del agua. A algunas de estas rocas que tienen cierto color y lustre, y muy marcada la estructura en glóbulos, las han llamado ocasionalmente perlitas, de las cuales no se puede hacer una subdivisión especial. Más lo merece la Marekanita, como veremos más adelante.

En cuanto á las obsidianas, es bien conocido su aspecto franco de vidrio, su textura conchoide y la pobreza de segregaciones cristalíticas que llega á veces hasta no contener ningunas.

Por efecto de la calcinación en una atmósfera libre, los vidrios naturales, en general, se hinchan, pierden su agua y se transforman en una masa esponjosa llena de cavidades que reducen á veces la masa á fibras unidas. Estos vidrios así modificados, dan la pómez que tanto abunda en las áreas volcánicas de México, proveyendo el material detrítico de una gran parte de nuestros sedimentos pliocenos y post-pliocenos.

Rosenbusch reconoce el hábitus nevadítico en algunos vidrios rhyolíticos, es decir, que contienen un gran número de individuos cristalinos de formación intratelúrica. Ya hemos mencionado los pocos casos de pretendidas hialonevaditas que conocemos de México.

Una mezcla de magma criptocristalino y puramente vítreo es de frecuente ocurrencia en las mismas rocas, ya mezclados irregularmente ó ya distribuídos en fajas de fluidalidad demarcando diferentes condiciones de enfriamiento. Este fenómeno es muy claro y común al microscopio y suele presentarse en mayor escala para percibirse á la simple vista. Así se ve en las montañas de las Navajas, cerca de la Peña del Jacal. Las litoiditas azuladas tienen intercaladas capitas de retinita de color amarillo sucio, con cristalitos de sanidino diseminados. El vidrio, amarillo claro por transparencia, deja ver al microscopio numerosas vesículas gaseosas; granitos de óxido negro de fierro, barritas amarillas que parecen ser de piroxena, algunas agujitas de apatita y microlitas de sanidino algunas veces muy abundantes. Suelen encontrarse también esferolitas finamente fibrosas ó formadas de microlitas feldespáticas, reconocibles como las de las rocas con litofisas de esa misma localidad.

La composición de la retinita es la siguiente:

SiO^2	69.40
Al^2O^3	12.00
Fe^2O^3	3.78
K^2O	2.36
Na^2O	4.30

Como se ve hay un contenido de sosa relativamente grande comparado con el de potasa y la proporción de sílice es inferior al que contiene la obsidiana y la litoidita de las Navajas, como se verá más adelante en un cuadro comparativo de los análisis de algunas de nuestras rhyolitas.

En otros lugares de la Sierra de Pachuca, se ven áreas pequeñas de retinitas parecidas; por ejemplo en el cerro Judío, cuyas retinitas llevan esferolitas grises de cruz negra y pequeños cristales de sanidino, triquitas y globulitas, seccioncitas de mica parda y apatita.

Muchas retinitas de color negro ó grises ofrecen, como las anteriores, un campo más ó menos límpido por tansparencia, con segregaciones de finas microlitas y regueros de globulitas en zonas que definen la estructura fluídea. En unas bandas dominan sólo las microlitas, en otras las colonias de globulitas y en los espacios intermedios se ven triquitas de formas caprichosas. De

este aspecto son algunas retinitas muy esferolíticas de Apaseo el Alto (Guanajuato). En la masa gris se ven las esferolitas de color rojo agrupadas en zonas y constan de fibras finas transparentes con interposición de fibras radiantes hechas de partículas ferruginosas.

Las retinitas hialonevadíticas de Pozos, cargadas de cristales de cuarzo y feldespato, muy agrietados como si hubiesen cedido al esfuerzo que determinó la división perlítica, se caracterizan por un magma globulítico; las globulitas aglomeradas forman verdaderas películas plegadas de muy diversa manera, produciendo, como dice Iddings al hablar de ciertos vidrios globulíticos, el efecto de un velo arrugado. En los espacios menos cargados de globulitas, se ven triquitas en la forma de ramitas espinosas. El vidrio perlítico de Guadalcazar (S. L. P.) le es semejante, llevando además microlitas feldespáticas, algunas de extremos bifurcados.

Es muy común observar, como se dijo antes, además de las microlitas incoloras consideradas como de feldespato, agujas más ó menos finas ligeramente coloridas en verde amarillento, algunas veces fácilmente reconocibles como de augita, las que se agrupan de ordinario en formas caprichosas. Tales son por ejemplo las que contiene el vidrio incoloro del cerro de Albadeliste, en Tejupilco (México). En el campo obscuro del magma á la luz polarizada, se ven estrellas formadas de varias agujas amarillas.

Esta roca también muestra curiosas manchas casi circulares que polarizan débilmente y que se resuelven á la luz natural en aglomeraciones de globulitas con tosca distribución radiante. Como se ve, estos cuerpos pueden considerarse como esferolitas incipientes, y podrían entrar en la categoría de las globosferitas de Vogelsand. Este es el único caso que hemos podido observar de agregados imperfectamente esféricos de globulitas.

Hasta aquí casi sólo hemos hablado de vidrios rhyolíticos de color uniforme ó incoloros, pero dentro de las retinitas caben muchas rocas vítreas que dan al microscopio colores más ó menos intensos con predominancia del amarillo y del rojo, y con partes incoloras; esta mezcla da lugar á varias congeturas respecto al estado de estos magmas fundidos, pues que demuestra una falta de homogeneidad de la masa, distintas temperaturas del baño líquido en diferentes partes de la masa, y aun á veces refusiones. En unos casos, el magma de diferente color se distribuye en capas; en otros, estas partes diferentemente coloridas se distribuyen en banditas sucesivas y alternantes y ocasionalmente con intercalaciones de capitas de litoidita. Así se observan, por ejemplo, las preciosas retinitas de la Sierra de Gamón, cerca de Durango, con bandas angostas grises, negras y amarillas, sirviendo de cemento á grupos de grandes esferolitas de color rojo. De las capitas, unas son enteramente vítreas y otras son litóidicas, dando estas últimas á la luz polarizada el aspecto criptocristalino ó de manojos de fibras muy unidos. Las bandas vítreas contienen finas microlitas y banditas de ópalo. Una idea de esta estructura en bandas diversamente coloridas, se da en la fig. 1 de la lám. X. Igual alternancia de bandas paralelas de vidrio pardo é incoloro, muestran las reti-

nitas de la cuesta entre el cerro del Obispo y el rancho de Piloncillos, en el camino de San Dimas (Durango). La regularidad de las bandas se modifica al tropezar con cristales primarios de sanidino.

Frecuentemente la mezcla del vidrio incoloro y colorido se hace muy irregular, y la coloración proviene solamente de muy finas granulaciones diseminadas á manera de polvo en el vidrio claro, como se ve en una retinita del cerro de Xicuco, cerca de Tula (3), que tiene 68.30 por ciento de sílice. El pigmento se halla asociado á globulitas, triquitas y agujas incoloras. Otras veces la materia colorante se presenta como en disolución y aparece como manchas en el vidrio incoloro, haciendo desaparecer parte de las segregaciones triquíticas. Tal es el caso para retinitas negras con estructura en barras, de la Sierra de Tulancingo y para las de cerca de Molango, en Hidalgo. El vidrio pardo del rancho del Zacatón, en Pozos, contiene microlitas de sanidino y algunos cristales primarios de plagioclasa entre los muchos de cuarzo y sanidino que tiene esta roca nevadítica. Existiendo en estos vidrios casi siempre el óxido negro de fierro en granos pequeños, es probable que en la mayor parte de los casos, la incompleta coloración del magma, amarillenta ó rojiza, sea simplemente debida á una oxidación del fierro.

Hay otros casos en los que la materia colorante, en lugar de aparecer como en disolución, se presenta en áreas bien individualizadas, con contornos definidos y afectando formas caprichosas que resultan del movimiento fluidal de la masa. Desde este punto de vista es muy interesante una roca de Apaseo el Alto, compuesta de un vidrio incoloro con numerosas cavidades, rosarios de globulitas y triquitas, cortados por zonas de un vidrio amarillo anaranjado, en formas arborescentes alargadas en la dirección del escurrimiento, y que se resuelven con aumentos no muy fuertes en aglomeraciones de fibras, de barritas ó de áreas irregulares de contornos más obscuros; lám. X, fig. 2. Algunos de estos cuerpecitos alargados, de color anaranjado, parecen á veces verdaderas microlitas. El mismo aspecto nos ofrece la retinita de cerca de Huitzuco (Guerrero) y las hermosas obsidianas jaspeadas de Maravatío y de otros muchos lugares del país.

Se habrá comprendido fácilmente que todas las retinitas de que hemos hablado tienen más ó menos desarrollada la estructura perlítica, verificada al fin y después de la consolidación, puesto que no afecta en nada á las bandas de fluidalidad. Las partiduras perlíticas unas veces desaparecen á la luz polarizada, otras veces se reconocen por finas líneas débilmente alumbradas de color amarillento, como en una retinita de Asientos y del cerro de Altamira (Aguascalientes) (9). En la de la barranca de Ojo de Agua, en el Oro, Distrito de Ixtlahuaca (México), las grietas perlíticas están llenadas de un producto criptocristalino. Lám. X, fig. 3.

Es muy común encontrar en las retinitas, al lado de vidrios compactos incoloros ó coloridos, partes muy cargadas de cavidades y de vesículas gaseosas, alargadas, que recuerdan inmediatamente la estructura de la pómez. Del vidrio pumítico al vidrio compacto se pasa por insensible gradación, pero hay

muchos casos en que cada uno de estos vidrios se aisla en lagunas de forma irregular cuyos contornos se tocan mutuamente dando la apariencia de fragmentos fuertemente prensados y soldados. El cerro Xicuco, cerca de Tula (3), nos provee excelentes ejemplos de esta estructura. En aquel pequeño macizo cónico aislado, abundan las retinitas, las pómez, las brechas y las tobas en lechos escalonados. Las retinitas son lás dominantes, de aspecto jaspeado con manchas negras, pardas y amarillas, con algunas esferolitas y cristales de sanidino. Las lagunas de vidrio pardo se sueldan á las de magma incoloro desvitrificado y á las de pómez, dando la apariencia eutaxítica que describe Iddings para algunos vidrios rhyolíticos del Yellowstone Park. Es muy estraño, como bien nota ese autor, el contraste entre partes relativamente compactas de vidrio y partes ampollosas pumíticas. Es probable que esta curiosa estructura sea debida á refusiones, y que por movimientos de la masa viscosa, se comprimían las partes pumíticas infladas, ó que hubo distintas temperaturas en el magma fundido.

En la fig. 4 de la lám. X, damos una representación de la estructura eutaxítica, que tienen muchas de nuestras retinitas, entre otras, las del Paso de Ibarra, en las márgenes del río de Tololotlán cerca de Guadalajara, las del cerro de la Cruz en Puruándiro (Michoacán) (13), las de Jesús María en la Sierra de Morones (Zacatecas) (2), las de la Sierra de Gamón, etc., etc.

La Marekanita.

El estado más perfecto de la estructura perlítica se muestra en los vidrios conocidos con el nombre de *Marekanita*, derivado de las retinitas de cerca de Ochost, en la orilla occidental de la grande Marekanka, Siberia. Estos vidrios, de grande pureza y homogeneidad, se dejan separar según las grietas perlíticas, en glóbulos de pequeña dimensión. El producto de esta desagregación forma acumulaciones de bolas, al pie de un acantilado en aquella localidad. La separación en glóbulos de este vidrio natural, á más de un fenómeno de contracción, parece que es debida á una especie de tensión muy semejante á la que adquieren los vidrios artificiales mediante ciertas acciones, tales como la compresión, ó un enfriamiento muy rápido de la masa fundida. Por lo primero se producen también fenómenos de polarización, y por lo segundo, una fragilidad muy grande, pues que se reducen á polvo fino los glóbulos al menor choque, fenómeno característico de las lágrimas batávicas.

Con estos caracteres se presenta un vidrio gris de humo, procedente del cerro de Buenavista, en el Distrito de Apam (Hidalgo), que forma allá masas no muy considerables, y declives con el material desagregado. De los trozos traídos al gabinete, se desprenden al contacto de los dedos pequeños glóbulos, esquirlas y conchitas dotadas de completa transparencia, que saltan en partículas finas cuando se les golpea débilmente con un martillo.

En las masas, se ven entre los glóbulos, cristalitos muy hialinos blancos de sanidino. La Marekanita de Buenavista, al igual que los otros vidrios que

llevan este nombre, está casi completamente desprovisto de segregaciones cristalíticas, y las láminas al microscopio aparecen enteramente limpias, salvo una que otra pequeñísima vesícula de gas. Además de los pequeños cristales primarios de sanidino, se encuentran algunas laminitas de biotita.

Entre bolas y guijarros de una obsidiana negra que se encuentra en unas colinas cerca de Etzatlán, Jalisco, hay un vidrio de color gris de perla, de lustre nacarado, en masas arredondeadas ó en glóbulos pequeños desde el tamaño de una avellana. Observados con la lente estos glóbulos perlíticos, se ven formados de conchitas concéntricas muy delgadas y enteramente transparentes. Si se golpean con un martillo saltan también en pequeñas esquirlas filiformes y en glóbulos más pequeños. Esta retinita aperlada suele envolver á núcleos de obsidiana negra que, como la Marekanita, no contiene ningunas segregaciones más que tenues cavidades.

La misma descripción conviene á la Marekanita gris de perla y amarilla de los alrededores de Maravatío, en el Estado de Michoacán.

Obsidianas.

Con el título de "Algunas obsidianas de México" publicamos en 1892[1] un pequeño estudio de estos vidrios rhyolíticos, de las localidades más conocidas de México. En ese trabajo consagramos especial atención al fenómeno de la desvitrificación, describiendo los pasos que claramente sigue la cristalización incipiente y definiendo las variedades de la obsidiana por la ausencia de toda individualización, por la existencia de cavidades y burbujas en la masa ó por el tipo de desvitrificación que en ella predomina. Tal subdivisión, tan artificial, no puede ser nunca rigurosa, y así lo supusimos desde entonces, porque en una misma localidad y aun en un mismo ejemplar, se pueden encontrar diferentes productos ó estados de desvitrificación, y sólo adoptamos la subdivisión por la comodidad para hacer la descripción. Debemos de insistir aquí, sin embargo, en que la forma rudimental ó naciente de la desvitrificación, es un diminuto cuerpo ó grano de apariencia esférica que á menudo puede confundirse con una pequeña cavidad; que la reunión de varios granos da lugar á esas figuras filiformes ó triquitas tan comunes en los magmas amorfos, y que la aglomeración de muchos cuerpecitos esféricos ó globulitas puede á veces dar nacimiento á agujas ó microlitas ya dotadas del poder de la doble refracción. Si en verdad el mecanismo de la cristalización es en general más complicado y difícil de seguir en sus primeros pasos, no es menos cierto que algunas obsidianas muestran claramente, cómo á expensas de estas formas rudimentales nace un individuo más perfecto. Todos los familiarizados con el microscopio han visto, en magmas amorfos en vía de desvitrificación, á las microlitas rodeadas de un espacio enteramente desprovisto de se-

1 Memorias de la Soc. Cient. A. Alzate, tom. VI, 1892.

gregaciones, indicando que todas las que allí se encontraban han sido refundidas en un individuo de mayores y mejores proporciones.

Dijimos en otra parte que de los vidrios de rhyolita, la obsidiana se puede distinguir macroscópicamente por su lustre y aspecto de vidrio, su textura conchoide perfecta, su transparencia en los pedazos esquinados, que se obtienen cortantes y muy finos. Domina en la obsidiana en masa el color negro, el verde amarillento ó verde botella por transparencia. No faltan sin embargo, las variedades coloridas en rojo ó anaranjado, pardas ó veteadas y manchadas de negro como algunas retinitas.

El vidrio es puro ó contiene cristales diseminados de feldespato de primera generación, muy raras veces hay granos de cuarzo, de mica, de hornblenda ó de fayalita, y sí con más frecuencia se ven aprisionadas las esferolitas y litofisas.

Algunas obsidianas negras son vidrios tan puros que no contienen ningunas inclusiones ni cavidades; son enteramente limpias como las que se encuentran al pie de la Peña del Jacal y cerro de las Navajas. Entre estas obsidianas puras, hay algunas que enseñan un agrietamiento ó división particular que hemos figurado en las Memorias de la Sociedad Alzate, de una obsidiana de Altotonga en el Estado de Veracruz. Dicha partición afecta la forma de circunvoluciones; las líneas finas y sinuosas siguen á veces cierta orientación uniforme que parece provenir del escurrimiento de la masa todavía viscosa. El mismo aspecto tiene al microscopio la obsidiana de la barranca de Zomelahuacán, en el mismo Estado, pero además existen partes con finas cavidades alargadas semejantes á las de la pómez y que pasan insensiblemente, por disminución y pequeñez de las cavidades, á la región de las circunvoluciones. De aquí se deduce que este agrietamiento, es probablemente debido al reblandecimiento por el calor, de una masa ya sólida, ó al momento en que por una refusión del vidrio, viene el hinchamiento que precede al desprendimiento de vapor como el que se produce cuando se calcina una obsidiana. Por fortuna esta aserción es susceptible de verificarse por la experiencia, lo que nos proponemos realizar más tarde.

El curioso agrietamiento de que hablamos, que no hemos visto descrito hasta ahora, lo tienen igualmente las obsidianas de Tuzamapa, sobre el camino de Tulancingo á Zacualtipán (Hidalgo).

Muchas obsidianas sin segregaciones aprisionan en su masa numerosas vesículas gaseosas, de forma generalmente elíptica y de 0.5 mm. á 1 mm. de longitud, esparcidas al acaso y en pequeña cantidad como en la obsidiana de Poro, en Michoacán, ó muy abundantes y alargadas en la dirección del escurrimiento, como en la de las Peñas de las Aguilas en las Navajas, ó en tan gran número y de grandes dimensiones para pasar á la pómez, como en las faldas del cerro del Ocote en Tula. Las obsidianas con buen número de burbujas gaseosas y cavidades orientadas, tienen la particularidad de dar en cierta posición, un hermoso lustre sedoso, debido probablemente á una simple reflexión de la luz sobre las paredes de las innumerables vesículas. Zirkel ha

dado á este lustre una interpretación que no nos parece muy aceptable; nosotros creemos que este lustre sería parecido ó igual al de la pómez si ésta no fuese de color tan claro. Es notable, pero ya lo explica Iddings, que estas obsidianas con vesículas, son muy pobres ó exentas de segregaciones cristalíticas.

En los vidrios de las Peñas de las Aguilas se encnentran algunos que en el microscopio muestran bandas ligeramente turbias que se resuelven en fuertes aumentos en aglomeraciones de pequeñas globulitas sin ninguna ordenación entre sí, pero en los espacios intermedios de las bandas enteramente límpidas, se ven las globulitas alineadas formando margaritas. Cerca de Zacualtipán, en el Durazno, donde hubo fábrica de cuchillos de los indios, se encuentran también las obsidianas globulíticas mezcladas con hilos ó triquitas opacas en la forma que representa la fig. 4 de la lám. XI.

Series de triquitas negras muy finas en forma de estrellas y cabellos se encuentran en las obsidianas negras de las faldas del Cofre de Perote, en Teziutlán, en Villa de Libres, del Estado de Puebla, y en la cima de la Sierra de Juanacate al Norte de Ixtlán, Tepic. Estos cabellos tienen á veces adheridos granitos y cuadrados de óxido negro de fierro. Entre las triquitas se encuentran algunas pequeñas microlitas y numerosos cristalitos microlíticos de sanidino reconocibles á la luz polarizada. Damos un ejemplo de triquitas en la fig. 5, lám. XI, tomado de una obsidiana que se dice procede de las faldas del Volcán de las Vírgenes, en la Baja California; quizá sea algún fragmento rodado.

Obsidianas bastante desvitrificadas abundan en muchos lugares de México. Dicha desvitrificación consiste en la producción de muy pequeños y fuertemente aglomerados cristalitos aciculares ó barritas, orientadas según el escurrimiento del vidrio y agrupados en bandas. Fig. 6, lám. XI. Cuando estas microlitas, que polarizan débilmente entre los nicols cruzados, son muy abundantes, la roca pierde la transparencia del vidrio y adquiere un ligero color gris y suele llevar numerosos cristalitos de sanidino; las microlitas son probablemente también de ese feldespato. No son raras, sin embargo, diseminadas entre éstas, agujitas de color verde amarillento probablemente de augita.

Las microlitas unas veces son de tamaño y espesor uniforme, como las de la obsidiana negro-agrisada de Maravatío, Michoacán, ó como las de la hacienda de Ajuchitlán, cerca de Tolimán, en Querétaro; otras son de extremos bifurcados ó ensanchados y de poca longitud comparada con su espesor, como las de la barranca de Santa María en el Distrito de Otumba (México). Estas microlitas pasan á verdaderos cristales cuando adquieren mayor tamaño, y de éstos se ve sembrada la roca cuando se examina á la luz polarizada. Un aspecto muy parecido tienen las microlitas feldespáticas diseminadas en la obsidiana del cerro del Calvario, en Atlacomulco, Distrito de Ixtlahuaca (México).

Nos queda por último hacer mención de las obsidianas de color, cuyo tipo es la obsidiana de Maravatío en Michoacán. Los colores dominantes son el

rojo anaranjado y el pardo, casi siempre salpicado de manchas y de cintas negras. Por la distribución de los tintes, se reconoce á veces que grandes masas están formadas de fragmentos soldados, hecho que se repite en pequeño al microscopio y que da por lo tanto la estructura eutaxítica, pues que no sólo estas partes soldadas ofrecen distinto color y grado de desvitrificación, sino que se asocian á fragmentos llenos de vesículas casi con la estructura de la pómez.

Con las obsidianas coloridas sucede como con las retinitas, que el color es debido á una materia ferruginosa que en la forma de pequeños granos muy unidos se aisla en formas caprichosas en la masa del vidrio incoloro; así se observan las obsidianas rojas de Maravatío; y las de Pénjamo en el Estado de Jalisco. En el vidrio incoloro abundan muy pequeñas microlitas, probablemente feldespáticas, en contraste con las partes coloridas que, además del pigmento granuloso, sólo se encuentran agujitas pardas y triquitas, resultantes de la fusión de los gránulos. Esto es claramente visible en la obsidiana parda del cerro de las Navajas; en la de Santa Ana Acatlán, Sayula, Jalisco, en la que aunque la materia colorante parece hallarse en disolución, á medida que aumentan las agujas y triquitas pardas disminuye la intensidad del color. Lo mismo sucede con las obsidianas pardas de cerca de Guadalupe de los Reyes, en el Distrito de Cosalá, Sinaloa.

La pómez.

Asociada casi constantemente á las rocas vítreas antes mencionadas, se encuentra la pómez que es también un vidrio de color claro, de aspecto esponjoso ó subdividido en fibras á causa de un gran número de vesículas y cavidades.

Como producto de las erupciones de rhyolitas y andesitas, la abundancia de la pómez en México es extraordinaria, y proviene de la calcinación de fragmentos de las rocas vítreas. Sea en fragmentos ó en pequeñas partículas, se halla constantemente en las tobas.

Para no incurrir en repeticiones y por ser tan característica, no hacemos de la pómez especial descripción.

Las brechas y tobas rhyolíticas.

En casi todas las áreas extensas rhyolíticas de México es común encontrar los productos detríticos que acompañaron á las erupciones de las rocas ácidas. Unas veces son fragmentos de estas rocas macizas fuertemente aglutinados y prensados entre sí; otras veces los fragmentos se hallan cementados por un magma vítreo ó criptocristalino con estructura de escurrimiento, teniendo además envueltos fragmentos esquinados de cuarzo y sanidino. Las brechas rhyolíticas ocupan por regla general el borde de las grandes corrientes, quizá próximos á los puntos de erupción, lo que no siempre se puede apreciar por los

cambios que determina la erosión; se encuentran igualmente en apófisis aislados, ó por último, en las paredes de las fracturas ó declives de los hundimientos y en todas partes donde ha habido desalojamientos bruscos capaces de triturar las rocas. En ciertos casos, las brechas son puramente ígneas, es decir, que fragmentos sólidos de roca han caído en un baño fundido que las ha en parte redisuelto, encontrándose allí no sólo pedazos de rhyolitas, sino también de otras rocas, especialmente andesitas. En otros ejemplos, la formación de las brechas es un fenómeno originalmente mecánico, pero modificado después por acciones secundarias químicas, tales como circulación de aguas que dejan un depósito silizoso incrustante que viene á servir en definitiva de cemento y transformando en parte los elementos primordiales de las rocas. De esta manera resulta un aspecto muy variado de las brechas, no sólo por el estado de los fragmentos de las rocas, ora frescos, sin alteración, ora transformados por una sobre-oxidación del fierro ó cambio de los minerales ferromagnésicos en productos verdes, calcita, etc., sino también por el estado de los fragmentos de cristales, que con frecuencia se encuentran aislados. En efecto, la mica ó la hornblenda se desagregan y nadan en partículas finas alteradas alrededor del núcleo del cristal de que provienen; los feldespatos suelen cambiarse en micropertita, se llenan de cavidades gaseosas y se alteran en los bordes en esponjas micropoikilíticas, al igual que algunos granos de cuarzo, sobre todo en aquellas brechas endurecidas por la silicificación.

No haremos especificación de estos hechos en el gran número de brechas rhyolíticas que poseemos de todas partes del país, puesto que muchas tienen puntos de contacto, demostrando la identidad de condiciones en su formación.

En los campos rhyolíticos de Pachuca, de Guanajuato, de Zacatecas, de Fresnillo, de Sombrerete, de Indé, de la Yesca, del río de Santiago en Jalisco, del Nayarit, etc., etc., aparecen las brechas, todas en regiones profundamente denudadas, y vamos á encontrarlas del mismo modo hasta en los confines del país, como en Presidio del Norte, en Chihuahua ó en la Isla de Espíritu Santo en la Baja California.

De brechas rhyolíticas y dacíticas se compone la elevada Bufa de Mascota ó del Real Alto, frente á las costas del Pacífico en Jalisco (12), que ha podido resistir á la erosión por la poderosa impregnación de sílice en las rocas y que cubre una área bastante considerable alrededor de las vetas minerales que se hallan en los flancos de la montaña.

Por un fenómeno semejante de silicificación, ciertas brechas andesíticas toman la apariencia de brechas de rocas ácidas, cuando la roca en pedazos se altera; de este modo pueden tomarse como de rhyolitas, las brechas andesíticas que se encuentran en un gran número de distritos mineros mexicanos.

Parecidas consideraciones á las anteriormente indicadas tendríamos que hacer con respecto á las tobas rhyolíticas que tienen vastísima distribución y

una importancia considerable desde el punto de vista fisiográfico, pues que dan á las regiones rhyolíticas del país una fisonomía característica, principalmente en la región montañosa occidental.

Las tobas marcan allá períodos sucesivos de erupciones, pues que se hallan intercaladas entre los grandes mantos de lavas macizas. Las tobas han regularizado las pendientes rocallosas, nivelado las mesetas, y han permitido por su fácil desintegracióu, la apertura de cañones, la formación de escarpadas cornisas en sus bordes, la salida de las aguas al Océano, etc.

Si en su origen las tobas han escurrido como torrentes de lodo, han formado acumulaciones de espesor considerable que la erosión ha modelado á su capricho; se ha tajado en centenares de metros para dar paso al río Grande cerca de Guadalajara, da taludes y escalones en las Sierras de Tepic; ó mezcladas con tobas, dan un campo erizado de muros y de torres como en la Sierra Fría al S.W. de Zacatecas. Los flancos del valle de Oaxaca y de la Sierra de Ixtlán se cubren de tobas rhyolíticas de color blanco y verdosas, bastante consistentes y homogéneas para haberlas podido utilizar los indios en la magnífica decoración de los palacios de Mitla.

En la obra de Félix y Lenk[1] se describen las tobas verdosas y rhyolitas del valle de Oaxaca, así como una rhyolita nevadítica de la cañada del Rosario al W. de Tlaxiaco en la Mixteca.

Al fin de las erupciones de lavas rhyolíticas macizas en muchos lugares de México, queda por mucho tiempo como manifestación de este período de volcanismo, la emisión de productos detríticos que se acumulan en grande cantidad y cubren las depresiones en donde sufrieron una verdadera sedimentación, no sólo por las aguas frías que llenaban esas depresiones, sino también por las aguas termales, productos de los mismos volcanes y que llevaban sílice en disolución que vino á depositarse juntamente con las tobas. Las tobas volcánicas de color rosado forman en Guanajuato los grandes muros de las Bufas; sobre ellas se encuentran las tobas blanco-verdosas sedimentadas que se extienden sobre las areniscas y tobas silicificadas llamadas Loceros. En el Manzano, Real del Monte, tobas rhyolíticas blancas intercaladas de capitas de piedra córnea se extienden casi horizontales en los flancos del macizo rhyolítico ó Bufa del Aguila.[2] Capas muy denudadas de tobas parecidas se encuentran también en las montañas de Zacatecas, de Guanajuato, de Guadalupe y Calvo y de tantas otras regiones mineras de la Sierra Madre, cuya lista sería larga.

El Paleotrochis.

Hace muchos años, el profesor E. Emmons, de North Carolina, descubrió en una poderosa formación de cuarcitas y conglomerados, juntamente con va-

1 Beitr. z. Geol. u. Palaontol. d. Republik Mexico, II, 1899.

2 El Real del Monte.—Bol. del Inst. Geol. de México, núm. 12, 1899.

rias concreciones, unas formas estriadas bicónicas, que supuso de origen orgánico y á las que designó con el nombre de Paleotrochis.

Después del estudio de Emmons, estos supuestos fósiles han pasado por las manos de muchos observadores, y algunos han estudiado también el yacimiento, habiendo llegado á la conclusión de que las rocas en que se encuentran son de origen volcánico, y de que las formas bicónicas no son más que simples concreciones silizosas. Formas enteramente semejantes han sido encontradas en las tobas rhyolíticas toscamente estratificadas de la cima del cerro del Capulín, cerca de Santa Rosa, en la Sierra de Guanajuato. Algunos ejemplares de este lugar fueron enviados á varios especialistas por el Dr. A. Dugés, de Guanajuato. El profesor H. S. Williams, escribió en 1897 un pequeño artículo: "On the occurrence of Paleotrochis in volcanic rocks in Mexico," [1] en el que se refiere á los ejemplares remitidos á Yale College por el naturalista de Guanajuato. Demostrado por el Sr. Williams el origen inorgánico del Paleotrochis mexicano, su artículo se concreta á sugerir el modo de formación de estas curiosas concreciones.



Posteriormente, el Sr. J. S. Diller[2] hace un estudio más completo de los dobles conos de N. Carolina y de las rocas ácidas en que vienen; demuestra por el estudio microscópico que muchos de los Paleotrochis son sectores ó

1 Am. Jr. of Sc. Vol. VII, núm. 41, 1899.
2 Origin of Paleotrochis.—Am. Jr. of Sc. Vol. VII, núm. 41, 1899.

partes de esferolitas, existiendo así íntima relación entre dichas formas y las rocas que las empotran.

Las figuras adjuntas, de tamaño natural y en dos posiciones, dan buena idea de las concreciones del cerro del Capulín. La superficie finamente estriada de los conos está cubierta de una costra blanca ó ferruginosa. Suprimida esta costra se obtiene un color ligeramente azul ó rosado y la textura franca de la calcedonia. El interior de estas concreciones está invariablemente formado de numerosos cristales de cuarzo hialino, prensados los unos con los otros y radiando de la superficie exterior de los conos hacia el centro, donde suele haber una pequeña cavidad. La capa exterior de calcedonia es solamente de 1 á 2 mm. de espesor y en banditas muy delgadas paralelas á la superficie. Al microscopio se ve la estructura fibrosa y radiante de la calcedonia ó en esferolitas con cruz negra.

Tanto por el yacimiento como por la naturaleza, el Paleotrochis de Guanajuato se asemeja mucho al del Japón, según resulta de la suscinta descripción dada por Diller[1] de los ejemplares remitidos por el Sr. Kochibi, al Museo Nacional de Washington.

Bastante difícil nos parece hallar una explicación satisfactoria del modo de formación de estas concreciones, que indudablemente resultan de un depósito de sílice en una pequeña cavidad por aguas en circulación y favorecido por la poca compacidad que originalmente tendrían las tobas rhyolíticas en que se encuentran los susodichos dobles conos, que por simple curiosidad podrían seguir llevando el nombre de Paleotrochis.

1 J. S. Diller, op. cit.

TABLA DE LOS ANALISIS DE ALGUNAS RHYOLITAS.[1]

	SiO^2	Al^2O^3	Fe^2O^3	K^2O	Na^2O
Núm. 1.—Felsonevadita.—Peña del Aguila, Real del Monte, Hidalgo	70.74	....	......	2.24	3.50
„ 2.—Rhyolita.—Cantera de Tapasco, Mineral del Oro, México	75.92	....	......	3.36	2.12
„ 3.—Rhyolita.—Sierra de la Parida, Zacatecas y Tepic	72.20	....	......	4.40	3.18
„ 4.—Rhyolita.—Mina de Zapopan, La Yesca, Territorio de Tepic	73.00	....	......	3.49	3.75
„ 5.—Rhyolita.—Cerro de Chichíndaro, Guanajuato	71.00	12.48	3.48	3.23	3.42
„ 6.—Litofisas.—Peña del Aguila, Real del Monte, Hidalgo	72.10	10.88	3.68	2.80	4.10
„ 7.—Litofisas llenas de ópalo, Tequixquiapan, Querétaro	76.04	....	......	3.96	3.10
„ 8.—Rhyolita alterada.—Cerro de Chichíndaro, Guanajuato	70.26	11.00	4.08	2.65	3.69
„ 9.—Litoidita.—Tequixquiapan, Querétaro	71.46	....	......	2.36	4.32
„ 10.—Litoidita.—Hacienda San Gregorio, Valle de Allende, Chihuahua	71.68	....	......	2.70	4.50
„ 11.—Litoidita.—Chichíndaro, Guanajuato	70.52	11.00	1.80	4.00	4.10
„ 12.—Litoidita azul.—Hacienda Cuyamaloya, Sierra de Pachuca, Hidalgo	70.46	11.18	4.98	4.28	4.60
„ 13.—Masa de esferolitas.—Analco, Ciudad de Durango	72.20	....	......	3.88	4.11
„ 14.—Litoidita axiolítica.—Acacico, Yahualica, Jalisco	81.50	....	......	1.47	1.56
„ 15.—Litoidita jaspeada.—Cerro del Ocote, Tula, Hidalgo	74.92	10.25	1.60	4.30	4.48
„ 16.—Retinita con bandas de litoidita azul.—Un acantilado de las Navajas, Sierra de Pachuca, Hidalgo	69.40	12.00	3.78	2.36	4.30
„ 17.—Retinita.—Picacho del Xicuco, Tula, Hidalgo	68.30	....	......	2.72	3.56
„ 18.—Obsidiana.—Base de la Peña del Jacal, Sierra de Pachuca, Hidalgo	74.81	13.11	3.82	4.01	3.89
„ 19.—Obsidiana.—Base de la Peña del Jacal, Sierra de Pachuca, Hidalgo	73.50	....	......	2.90	4.40
„ 20.—Obsidiana.—Cima de la Sierra de Juanacate, Ixtlán, Tepic	74.21	....	......	2.46	4.40
„ 21.—Obsidiana.—Taxco, Distrito de Alarcón, Guerrero	68.16	....	......	2.40	1.98

1 J. de D. Villarello. – Laboratorio de Química del Instituto Geológico.

LISTA DE LOCALIDADES.

LÁMINA VI.

1.—Magma esferolítico; esferolitas con cruz negra. × 30. Luz pol. Rhyolita. Río Chico, camino de Durango á Mazatlán.

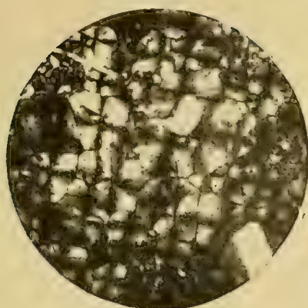
2.—Corte de una esferolita opaca por acumulación de granulaciones ferruginosas. × 30. Luz nat. Rhyolita de la Cascada de San Diego, Mineral del Chico, Hidalgo.

3.—Partículas ferruginosas y triquitas ordenadas radialmente en la masa de una esferolita. Luz nat. × 30. Rhyolita de Azoyatla, cerca de Pachuca, Hidalgo.

4.—Esferolita de contorno poligonal. × 30. Luz nat. Rhyolita del Paso de los Bueyes, Río de Santiago, Territorio de Tepic.

5.—Esferolitas formadas de manojos de fibras feldespáticas. × 25. Luz pol. Rhyolita. Río de Santiago, Territorio de Tepic.

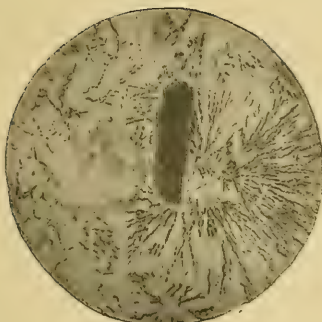
6.—Esferolitas excéntricas con forma de abanico. Manojos de fibras feldespáticas con intercalaciones de granos de cuarzo aglomerados. × 25. Luz pol. Río de Santiago, Territorio de Tepic.



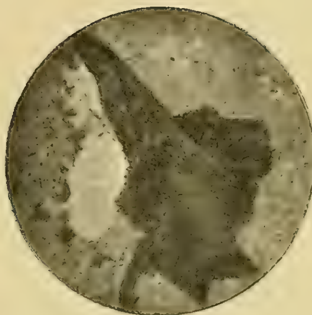
1



2



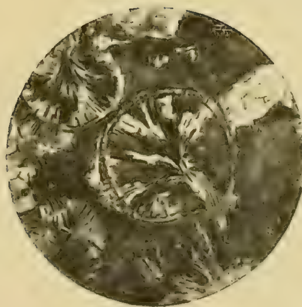
3



4



5



6

LÁMINA VII.

1.—Restos de esferolitas en forma de pincel. × 30. Luz pol. Rhyolita. Río de Santiago, Territorio de Tepic.

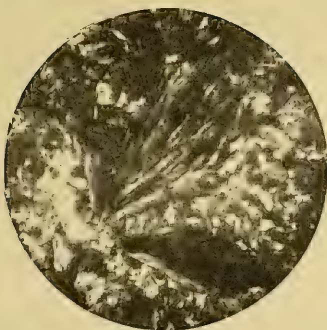
2.—Tapiz esferolítico. × 15. Luz pol. Rhyolita. Cadereyta, Querétaro.

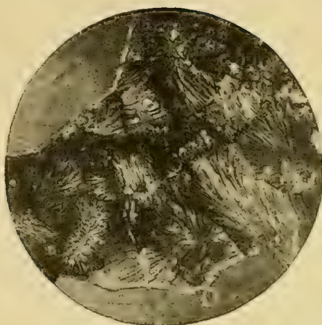
3.—Grande esferolita alrededor de un cristal de sanidino. × 20. Luz pol. Cerro de la Castellana, Ahuacatlán, Tepic.

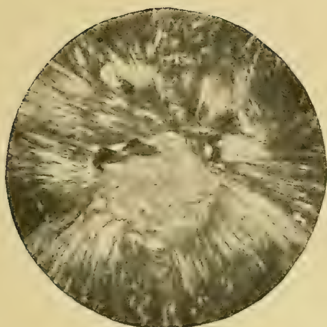
4.—Esferolita fibrosa rodeada de pasta granofírica. × 20. Luz pol. Cerro de la Castellana, Ahuacatlán, Tepic.

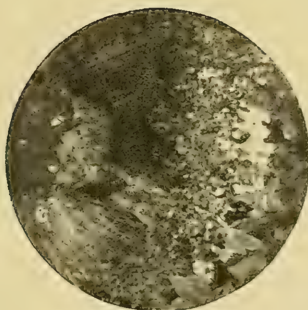
5.—Esferolita con núcleo de pasta granofírica. × 20. Luz pol. Rhyolita. Cerro de la Castellana, Ahuacatlán, Tepic.

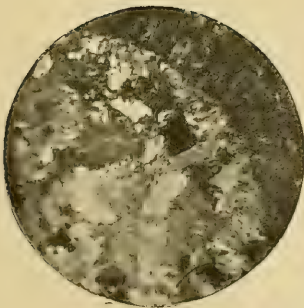
6.—Esferolita porosa formada de microlitas de sanidino separadas por tapiz de tridymita. × 20. Luz pol. Rhyolita. Cerro de la Mojonera, cerca de Durango.


1


2


3


4


5


6

LÁMINA VIII.

1.—Axiolitas. × 20. Luz pol. Rhyolita. Arroyo de las Canteras, Valle de Allende, Chihuahua.

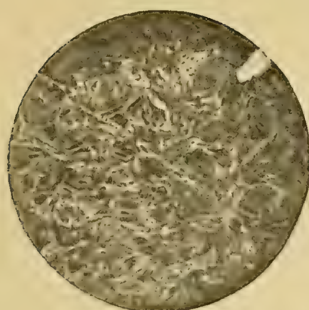
2.—Cristalitos de sanidino incluídos en grandes playas de cuarzo. × 25. Luz pol. Rhyolita con litofisas. Tequixquiapan, Querétaro.

3.—Esferolita con media luna de laminitas de tridymita. × 25. Luz nat. Rhyolita. Pachuquilla. Pie de la Sierra de Pachuca, Hidalgo.

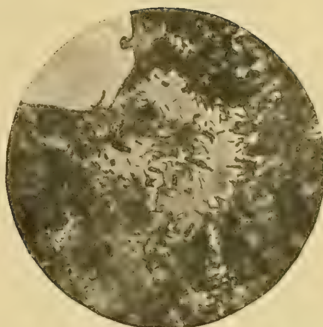
4.—Microlitas de sanidino. Luz pol. × 25. Litoidita azul. Las Navajas, Sierra de Pachuca, Hidalgo.

5.—Cuarzo esponjoso ó micropoikilítico. × 20. Luz pol. Rhyolita. Bufa de Zacatecas.

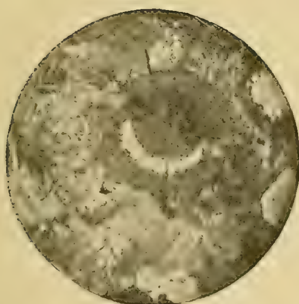
6.—Tejido interesferolítico de cuarzo y microlitas de feldespato. × 25. Luz pol. Rhyolita. San Miguel de Allende, Guanajuato.



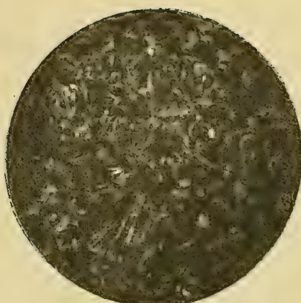
1



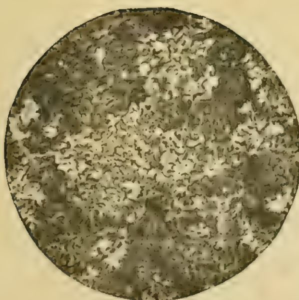
2



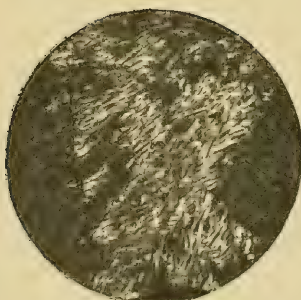
3



4



5



6

LÁMINA IX.

1.—Cuarzo vermiforme. × 15. Luz pol. Rhyolita. Cerrito del Almagre, Durango.

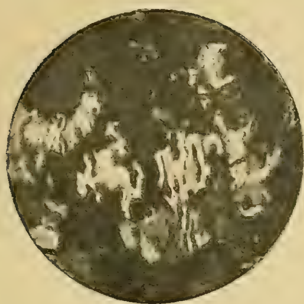
2.—Cristalización simultánea de cuarzo y feldespato. Micropegmatita. × 20. Luz pol. Rhyolita. Azoyatla, Pachuca, Hidalgo.

3.—Micropegmatita en el magma de una rhyolita, × 20. Luz pol. Chicavasco, Actopan, Hidalgo.

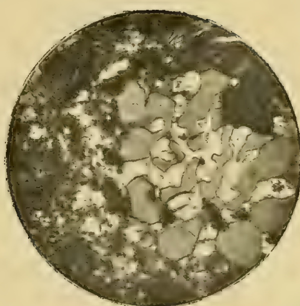
4.—Sección de un gran cristal de plagioclasa en macles de la albita y de la periclina. × 15. Luz pol. Cerro de Mercado, Durango.

5.—Litoidita. × 25. Luz pol. Mezquital del Oro, Zacatecas.

6.—Estructura de una litoidita. Principio de formación de esferolitas. × 25. Luz nat. Mezquital del Oro, Zacatecas.



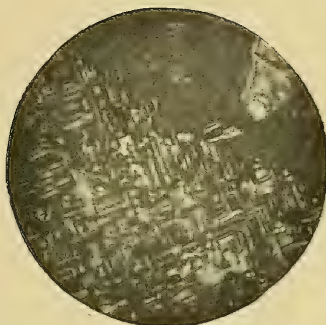
1



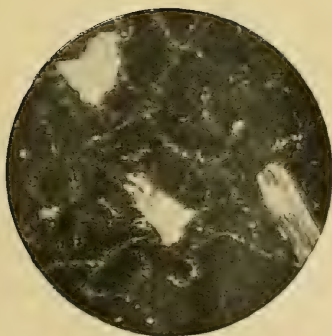
2



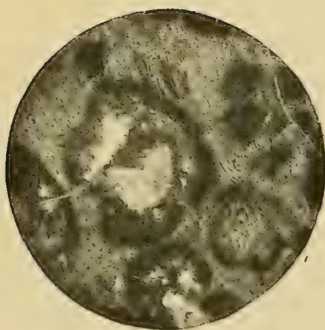
3



4



5



6

LÁMINA X.

1.—Retinita con bandas de litoidita. Sierra de Gamón cerca de Durango.

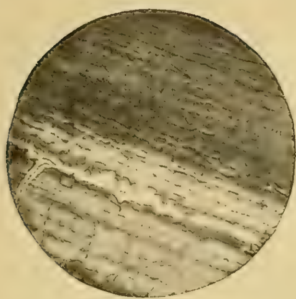
2.—Retinita gris manchada de rojo. Apaseo el Alto, Guanajuato.

3.—Estructura perlítica de la retinita de la barranca de Ojo de Agua. El Oro, Ixtlahuaca, México.

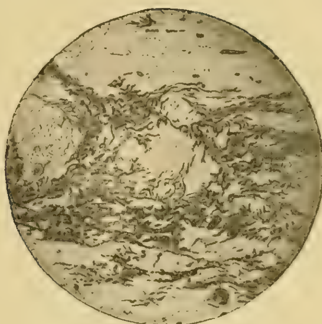
4.—Roca vítrea y litoídica en estructura eutaxítica. Mezquital del Oro, Zacatecas.

5.—Estructura de la retinita de la Sierra de Ramírez, Distrito de Viezca, Coahuila.

6.—Estructura de la pómez. Cerro del Ocote, Tula, Hidalgo.



1



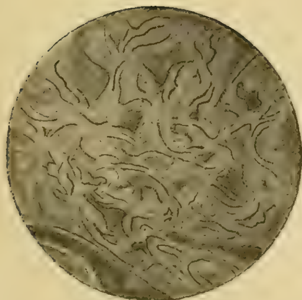
2



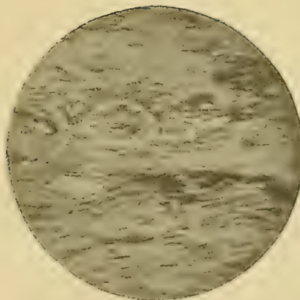
3



4



5



6

LÁMINA XI.

1.—Estructura de una litoidita. × 25. Luz nat. Cumbre de Calabazas, San José de Gracia, Sinaloa.

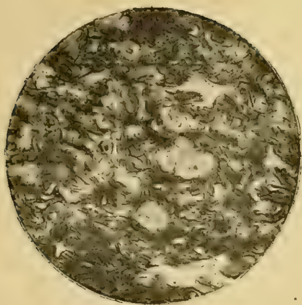
2.—Vidrio pumítico. × 25. Cerca de Amealco, Querétaro.

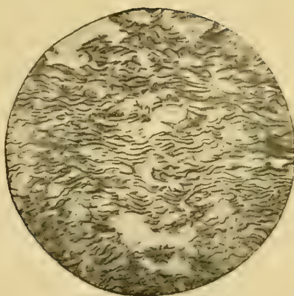
3.—Burbujas gaseosas. × 100. Obsidiana del cerro de las Navajas, Sierra de Pachuca, Hidalgo.

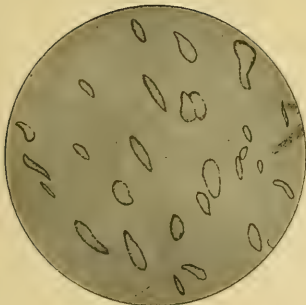
4.—Triquitas. × 250. Obsidiana del Volcán de las Vírgenes, Baja California.

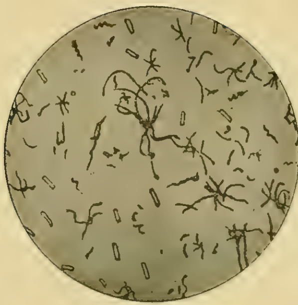
5.—Agregados globulíticos. × 300. Obsidiana del Durazno, Zacualtipán, Hidalgo.

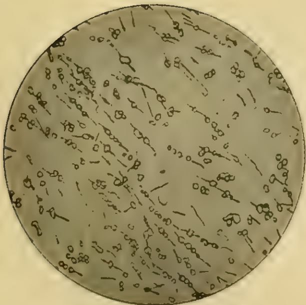
6.—Microlitas. × 300. Obsidiana negra de Maravatío, Michoacán.

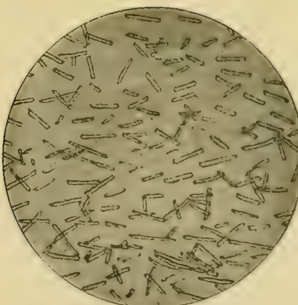

1


2


3


4


5


6

INDICE.

SECRETARIA DE FOMENTO, COLONIZACION É INDUSTRIA.

BOLETÍN

DEL

INSTITUTO GEOLÓGICO DE MÉXICO

NUMERO 16

LOS CRIADEROS DE FIERRO DEL CERRO DE MERCADO, DURANGO,

Y DE LA

HACIENDA DE VAQUERIAS, HIDALGO.



MEXICO

OFICINA TIP. DE LA SECRETARIA DE FOMENTO

Calle de San Andrés número 15.

1902

BOLETIN

DEL

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

INSTITUTO

GEOLOGICO DE MEXICO

BOLETIN NUM. 16.

BOLETIN

DEL

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

Núm. 1.—Fauna Fósil de la Sierra de Catorce, por A. del Castillo y J. G. Aguilera.—1895—56 pp., 24 lám.

Núm. 2.—Las Rocas Eruptivas del S.O. de la Cuenca de México, por E. Ordóñez.—1895—46 pp., 1 lám.

Núm. 3.—La Geografía Física y la Geología de la Península de Yucatán, por C. Sapper.—1896—58 pp., 6 lám.

Núms. 4, 5 y 6.—Bosquejo Geológico de México.—1897—272 pp. 5 lám.

Núms. 7, 8 y 9.—El Mineral de Pachuca.—1897—184 pp., 14 lám.

Núm. 10.—Bibliografía Geológica y Minera de la República Mexicana por R. Aguilar y Santillán.—1898.—158 pp.

Núm. 11.—Catálogos sistemático y geográfico de las especies mineralógicas de la República Mexicana, por José G. Aguilera.—1898.—158 pp.

Núm. 12.—El Real del Monte, por E. Ordóñez y M. Rangel.—1899.—108 pp., 26 lám.

Núm. 13.—Geología de los alrededores de Orizaba, con un perfil de la vertiente oriental de la Mesa Central de México, por Emilio Böse.—1899.—54 pp. 3 lám.

Núm. 14.—Las Rhyolitas de México (Primera parte), por E. Ordóñez.—1900.—78 pp. 6 lám.

Núm. 15.—Las Rhyolitas de México (Segunda parte), por E. Ordoñez.—1901.—78 pp. 6 lám.

Núm. 16.—Los criaderos de fierro del Cerro del Mercado en Durango, por M. F. Rangel, y de la Hacienda de Vaquerías, Estado de Hidalgo, por J. D. Villarello y E. Böse.—1902.—144 pp. 5 lám.

INSTITUTO GEOLOGICO DE MEXICO.

DIRECTOR, JOSÉ G. AGUILERA.

LOS CRIADEROS DE FIERRO

DEL

CERRO DE MERCADO EN DURANGO

POR M. F. RANGEL

Y DE LA HACIENDA DE VAQUERIAS, ESTADO DE HIDALGO

POR

J. D. VILLARELLO Y E. BÖSE.



MÉXICO

OFICINA TIPOGRÁFICA DE LA SECRETARÍA DE FOMENTO

Calle de San Andrés núm. 15 (Avenida Oriente 51.)

1902



Vista del Cerro del Mercado. Durango.

CRIADERO DE FIERRO DEL CERRO DE MERCADO, DE DURANGO, POR EL INGENIERO M. F. RANGEL.

La Sierra Madre Occidental atraviesa al Estado de Durango con una dirección casi de N. á S., teniendo una altura media de 2,500 á 3,000 metros sobre el nivel del mar. Los partidos de Tamazula, San Dimas y Durango, limítrofes con el Estado de Sinaloa, deben la fragosidad de su suelo á esta importante cordillera, que flexionándose un poco hacia el S.E., al entrar al partido del Mezquital, sirve de límite al Estado de Durango y al Territorio de Tepic.

Las sierras de Topia, Canelas, Amaculí y Copalquín; las de la Candela, Guanaceví, San Francisco y San Juan de Camarones, situadas más al Sur; las de Mapimí, Nazas y Cuencamé en los partidos limítrofes con Chihuahua y Coahuila, así como otras muchas en los partidos del Sur, corren con direcciones más ó menos inclinadas á la de la Sierra Madre ó le son paralelas, y hacen muy desigual y quebrado el territorio del Estado; tan pronto se aproximan unas cordilleras á otras formando pasos muy reducidos y escabrosos, verdaderas gargantas, como se alejan y encorvan para rodear extensos valles rellenados con aluviones diversos, cubiertos por tierra vegetal y fertilizados por las aguas que de las vertientes de las sierras circundantes escurren, ya sea en torrentes de curso efímero, ya en ríos de curso perenne aunque sujetos, en tiempo de lluvias, al régimen torrencial.

Toda la parte montañosa, que, como se ve, ocupa una parte muy importante del territorio del Estado, está cruzada por numerosas vetas metalíferas. Los yacimientos argentíferos de Guanaceví, Topia y Copalquín, la riqueza de los de San Andrés, Promontorio y Velardeña han empezado á ser conocidos y en la actualidad hay en ellos algunas explotaciones de importancia. Los criaderos auríferos del Oro han sido explotados en pequeña escala; los de cobre de Mapimí; los de mercurio en Otinapa han dado origen á la formación de poderosas compañías para hacer su explotación.

También se encuentran criaderos de estaño y de fierro y entre estos últi-

mos el Cerro de Mercado ocupa, por su riqueza, uno de los primeros lugares, no sólo en la República sino en el mundo entero, aunque desde el punto de vista de su producción figura en la actualidad entre los últimos de México.

El estudio de este yacimiento es el objeto del presente artículo, y antes de empezar su descripción daremos una ligera idea de su descubrimiento, para lo cual extractaremos la narración hecha por Fray Antonio de Tello en su "Crónica de la Santa Provincia de Xalisco."

Habiendo llegado á Guadalajara la noticia de que en la región que después se llamó el valle de Guadiana existían ricos criaderos de oro y plata, la Audiencia de Compostela pensó en su conquista y la encomendó al español Ginés Vázquez del Mercado, sobrino y yerno de Ginés Vázquez de Tapia, capitán que fué de la conquista de México. Era Ginés Vázquez del Mercado un acaudalado vecino de Guadalajara, propietario de varias casas en aquella población y de ricas minas en Tepic; su afición á las armas, su valor y arrojo eran muy conocidos en Guadalajara, lo que unido á su desahogada posición explica la elección hecha por la Audiencia de Compostela. Nombrado por ésta capitán general, habiendo reunido su gente y equipádola de su propio peculio, salió de Guadalajara al frente de 100 españoles, en 1552, para emprender la conquista y pacificación de la provincia de Xocotlán, según órdenes que de la Audiencia recibiera.

Al entrar á esta provincia tuvo algunos encuentros con los indios, en los que alcanzó fácilmente la victoria; continuó su marcha en busca de una rica mina que le aseguraba conocer un indio de Tepic que llevaba y el que lo condujo á las minas de Xocotlán; permaneció en ellas ocho días, durante los cuales se vió acometido y cercado por más de seis mil indios; pero habiendo logrado romper el cerco y derrotarlos, y poco satisfecho con el descubrimiento hecho, continuó su marcha por el río de Tenantitlán, aguas arriba; y preguntando por minas á los indios que encontraba, unos de hacia Valparaíso le dijeron que, tierra adentro, en unos grandes llanos había un cerro de oro y plata. Buscando ese cerro pasó Mercado por Chalchihuites, Sombrerete, San Martín y Avino, y aunque halló minas en todos estos puntos, no hizo caso de ellas.

Hacia fines de 1552 salió de Avino con su gente en busca del codiciado cerro, al que habiendo llegado, encontró que no era lo que él esperaba, sino un enorme yacimiento de fierro. Desengañado emprendió su viaje de regreso, no sin que antes los soldados irónicamente bautizaran el cerro encontrado con el nombre de Mercado, que conserva hasta la fecha.

En su regreso fué atacado por los indios en un lugar cercano á Sombrerete y aunque salió victorioso, tuvo varios muertos y heridos, contándose entre estos últimos el mismo Mercado. Herido y abandonado de los suyos se dirigió al Teutl, donde murió; su cuerpo fué llevado á Xuchipila y sepultado en el convento de San Francisco.

El cerro descubierto por Mercado está situado á unos 3 kilómetros al N.

de la ciudad de Durango, tiene una forma alargada de unos 1,500 metros de longitud, que se dirige de E. á W.; su extremidad occidental es muy ensanchada y parece formada por varios ramales; su extremo oriental es, por el contrario, angosto y forma una delgada cuchilla; la altura media es de unos 100 ó 110 metros, pero algunos picachos se elevan unos 30 ó 35 metros más.

La parte mineral se presenta en forma de un dique muy potente, ramificado en la parte occidental, que envía dos pequeños ramales hacia el Norte, é incluído en un macizo constituído por rhyolita. La erosión, obrando primeramente sobre la roca encajonante, ha producido su desagregación en blocks de diversos tamaños que se han depositado sobre los taludes del cerrro; la parte mineral así descubierta ha sufrido, á su vez, la acción lenta y continuada de los agentes de la dinámica externa y ha sido desagregada en fragmentos de volumen variable que han concluído por formar, depositándose en los taludes, un revestimiento de mineral que da al de Mercado la apariencia de una montaña constituída únicamente por mineral ferruginoso. Esta ilusión desaparece por el examen atento de la estructura de la montaña; en efecto: en la base se ven enormes bancos de rhyolita compacta; un poco más arriba aparece el depósito de fragmentos de rhyolita; más arriba aún, los fragmentos de rhyolita cubiertos en algunas de sus caras con mineral de fierro cristalizados en pequeños octaedros, están mezclados con los trozos de mineral, cuya proporción va en aumento con la altura hasta constituir exclusivamente el depósito, lo que sucede al pie de los acantilados que forma el crestón del dique. Solamente donde la pendiente del terreno es muy fuerte ó donde los crestones llegan hasta el nivel del valle es donde el mineral de fierro cubre los taludes de la montaña hasta su base.

Lo dicho hasta aquí no disminuye en modo alguno la importancia del yacimiento, pues á más de ser enorme la cantidad de fierro que puede suministrar el depósito formado sobre la montaña, las dimensiones aparentes de los crestones hacen suponer que se prolonguen en el sentido vertical hasta una gran profundidad, y que la parte mineral ahora oculta sea con mucho superior á lo que se tiene á la vista. No sólo es de esperar que la profundidad del yacimiento sea considerable, sino también su longitud, puesto que en la dirección de E. á W. aparecen, á grandes distancias, pequeños crestones del mismo mineral, como se observa al Oriente, ó bien venillas rellenadas por arcilla ferruginosa como sucede al Poniente, cerca del rancho de Morgan.

El mineral dominante, el que constituye casi exclusivamente la masa toda del yacimiento, es la hematita; se presenta en masas compactas granulares de enormes dimensiones, marcada por varias grietas de contracción que la dividen en porciones más pequeñas.

En las caras de separación de los diversos fragmentos de mineral se hallan grandes cristales octaédricos de martita y muchas veces cristales bien formados de apatita. La hematita especular se encuentra en venillas, ya

sea en el seno mismo de la hematita compacta ó, como sucede más generalmente, encajonadas en la rhyolita, como se ve en el Norte del cerro, en el punto llamado impropiamente Cueva de la marmaja y que no es sino un pequeño socavón. La hematita micácea se presenta en las mismas circunstancias que la especular, sólo que en proporción mucho menor.

La martita, como decíamos, está en grandes cristales octaédricos encajados en los grandes blocks de hematita y casi nunca se encuentran aislados, razón por lo que desechamos la opinión de que sean los resultados de la transformación de la magnetita en hematita; mejor pudiera considerarse este hecho como una nueva prueba del dimorfismo del óxido férrico.

La hematita arcillosa roja (ocre rojo) se encuentra en venas de anchura casi de un metro en la mesa central del cerro, en los flancos de la montaña y en los cerritos llamados del Almagre, situados á unos 500 metros al Sur del Cerro de Mercado. Nos explicamos su aparición por la circulación de aguas termales cargadas de óxidos de fierro á favor de grietas ó fracturas que presentaba la roca rhyolítica, que descompuesta por la acción de estas aguas, suministraba la arcilla que en la actualidad rellena las grietas, la que se cargaba de los óxidos de fierro que las aguas circulantes depositaban.

La magnetita propiamente dicha, es decir, la especie mineral pura, no se encuentra en ninguna parte del yacimiento, y si bien es cierto que algunos ejemplares, recogidos en la parte Norte del Cerro, presentan, aunque débilmente, las propiedades magnéticas, el color rojo de su polvo y raspadura sugieren la idea de que la magnetita en pequeña cantidad se halla mezclada íntimamente con la hematita.

Respecto á la presencia del fosfato de fierro en el Cerro de Mercado, diremos que se encuentra muy rara vez y en muy pequeña cantidad. En un pequeño fragmento de hematita compacta vimos un polvo amarillo verdoso que analizado cualitativamente resultó ser un fosfato de fierro; pero como no fué posible hacer un análisis completo que, á falta de caracteres mineralógicos bien definidos, nos indicara de qué especie de fosfato se trataba, sólo anotamos la presencia del fosfato de fierro, esperando, para determinar la especie, el tener á nuestra disposición mayor cantidad de materia sobre que operar. Por otra parte, nada tiene de raro que en un yacimiento de fierro en que abunda muchísimo la apatita, se presentase el fósforo combinado con el fierro.

Como acompañantes del mineral del Cerro de Mercado se presentan en cantidad notable el cuarzo y la apatita, cuya presencia acabamos de indicar en el párrafo anterior.

El cuarzo se encuentra al estado de calcedonia, formando una red de venillas de diversos espesores que cruzan en todos sentidos á la hematita, ó concentrado en grandes masas aisladas, ó bien cementando algunos fragmentos de hematita.

La apatita, ó mejor dicho la variedad "esparraguina," se presenta casi siempre cristalizada, ya sea sola ó en compañía del óxido de fierro; forma



Crestones de los filones de fierro del Cerro de Mercado.

también venillas y masas en que abundan cristales bien formados y de grandes dimensiones; en el punto llamado *Cueva de los biriles* se recogen los mejores ejemplares de esparraguina: son de un color amarillo de miel ó de amarillo verdoso, alargados en el sentido del eje senario hasta alcanzar 9 ó 10 centímetros de longitud; presenta una multitud de facetas prismáticas y se terminan en un extremo por una pirámide irregular de seis caras, de las que tres, pero generalmente dos, están muy desarrolladas y casi hacen desaparecer á las otras. En Durango confunden estos cristales de esparraguina con los de topacio, que se encuentran algunas veces, y á esto se debe el nombre impropio de biriles con que los designan.

En la base del picacho que se encuentra al Oriente se ven unas venillas angostas de anfíbola alterada.

Terminaremos la descripción de los materiales que se encuentran en el Cerro de Mercado, diciendo algo sobre la variedad de Topacio, llamada Pricnita, cuya presencia acabamos de señalar, haciendo también la observación de que es poco abundante. Está cristalizado en prismas pequeños de simetría rómbica, presentan varias caras prismáticas y en uno de sus extremos una combinación de pirámides y domas; en el otro extremo se terminan por la base. Los colores más frecuentes de los cristales son el blanco hialino, el rosa ó el amarillo pálido.

A continuación ponemos algunos análisis hechos sobre muestras del Cerro de Mercado que dan idea de la pureza del mineral, así como del alto rendimiento en fierro que puede tenerse.

Los que hicimos en el laboratorio del Instituto, uno de una muestra de hematita muy pura y el otro de una ordinaria, nos dieron los resultados siguientes:

	1ª muestra	2ª muestra.	
Peróxido de fierro......	91.50	69.00	por ciento.
Siliza......................	2.50	22.80	,,
Alúmina..................	0.60	1.60	,,
Humedad.................	3.00	2.50	,,
	97.60	96.90	

En el residuo se reconoció la presencia de la cal y del fósforo, pero no se hizo la determinación cuantitativa de estas substancias. La alúmina y el fierro se cuantearon juntamente y en seguida se separó y pesó el fierro, determinando la alúmina por diferencia.

Mr. M. H. Boye, de Filadelfia, da como resultados de sus análisis de cinco muestras de diversos lugares del Cerro Mercado, lo siguiente:

	1ª m.	2ª m.	3ª m.	4ª m.	5ª m.
Oxido de fierro	96,3	93,8	98,2	71,0	67,1
Siliza	2,6	3,4	0,6	28,1	26,5
Alúmina	0,1	1,2	0,5	0,2	0,5
Carbonato de cal	0,3	—	—	—	0,5
Agua	0,7	1,6	0,7	0,7	6,4
Suma	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Rendimiento en fierro	66,77	65,3	68,8	49,23	50,55

Los análisis más completos que conocemos son los hechos por Mr. A. S. Mac Crelh, de Pennsylvania, quien operó sobre 27 muestras diferentes y cuyos resultados medios son:

Oxido magnético de fierro	2.071	por ciento.
,, férrico	77.571	,,
,, mangánico	0.113	,,
Acido titánico	0.710	,,
Cal	5.050	,,
Magnesia	0.364	,,
	85.879	
Acido sulfúrico	0.212	,,
,, fosfórico	3.041	,,
Pérdida por ignición, agua, etc	1.984	,,
Siliza	7.760	,,
Alúmina, etc., sin determinar	1.124	,,
Suma	100.000	

ó en otra forma que indica el rendimiento:

Fierro metálico	55.800	por ciento.
Manganeso	0.079	,,
Fósforo	1.328	,,
Azufre	0.085	,,
Fósforo en 100 partes de fierro	2.379	,,

Si bien es cierto que el fósforo se presenta en abundancia y que, como vimos, la apatita, que es un fosfato, es muy frecuente en el Cerro de Mercado, esto no tiene ningún inconveniente, pues los adelantos de la metalurgia, al descubrir el procedimiento de desfosforización, han hecho que en la actualidad se busquen para la fabricación del fierro yacimientos abundantes y de una extracción económica, de preferencia á los muy puros, que se

reservan para la fabricación del acero; además de esto, la proporción de fósforo no es tan grande y es de esperarse que del Cerro de Mercado se pueda extraer fierro y producir acero de excelente calidad. Creo conveniente insertar aquí la autorizada opinión del distinguido químico Mr. Crelh sobre la influencia de las impurezas en la calidad del fierro que del mineral del Cerro de Mercado se extraiga, así como los análisis hechos por él de los productos obtenidos en la ferrería de Flores en el año de 1881, datos que, como los análisis arriba expresados, los tomamos del informe de Mr. John Birkinbine, publicado en el Tomo X del *Minero Mexicano*, números 45 y 46; dice así:

''Las muestras de fierro lingote y de barras dan respectivamente el siguiente resultado:

	Lingote.	Barra.
	—	—
Silicio....................	0.771	0.105
Fósforo.................	0.428	0.193

''El fierro lingote contiene menos proporción de fósforo que la generalidad de nuestros fierros de fábrica ó de forja. Aunque el tanto por ciento de fósforo en el de barra es considerable, sin embargo, de ninguna manera es excesivo.

''Los análisis que he hecho de fierros normales forjados, ingleses y americanos, dan el resultado siguiente:

Fósforo: Nº 1 .... 0.248. Nº 2.............. 0.197.

''Número 1.—Fierro ''Ridsdale'' de Sir William G. Armstrong, barra retorcida para cañón de rifle; el mejor fierro, cuatro veces amartillado.

''Número 2.—Fierro ''Ulster,'' barra retorcida para cañón de rifle; el mejor fierro extra, cuatro veces amartillado.

''La pequeña cantidad de ácido titánico que da el análisis no será bastante para afectar materialmente el trabajo del metal en el alto horno.

''El fósforo que contiene el lingote parece ser la proporción de lo que darían las muestras del mineral. Las piedras de fierro contienen 0.288 por ciento de fósforo, ó sea 0.458 en cien partes de fierro. Aceptando que el lingote contenga 95 por ciento del fierro metálico contenido en el mineral, el mismo contendría 0.435 por ciento de fósforo, cantidad que se aproxima mucho á la proporción hallada en la muestra que se analizó, esto es, 0.428 por ciento.''

Se ve por lo expuesto hasta aquí, que aun sin hacer ninguna tentativa durante el tratamiento metalúrgico del mineral para eliminar el fósforo, la pureza del producto industrial iguala á los mejores fierros ingleses y americanos; pero si llegara el caso de tener que usar los minerales más impuros, ya dijimos que la metalurgia prefiere en la actualidad los yacimientos abundantes y que permiten una extracción fácil y económica, á los de una pureza extrema pero de más costosa explotación.

La presencia del azufre en cantidad tan pequeña nos autoriza para desechar la idea de atribuir el origen del mineral de Mercado á la transformación en óxido de fierro de una masa enorme de pirita; esta hipótesis, que podrá tener aplicación en algunos yacimientos, es enteramente falsa en nuestro caso, pues ni en el centro de los fragmentos macizos y compactos de mineral se encuentra un solo átomo de pirita que haya escapado á la transformación, ni se ha encontrado hasta hoy algún ejemplar que recuerde alguna de las variadas formas que afecta la pirita de fierro y que suelen encontrarse en los ejemplares de pirita epigenisada. Creemos, pues, que puede decirse que la presencia del azufre es sólo accidental, ó cuando mucho, que tiene una importancia secundaria.

En el valle de Durango, debajo de la capa superficial más ó menos gruesa de tierra vegetal, se presenta otra de arcilla que cubre á una de arena y guijarro sobrepuesta á otra capa arcillosa; la capa porosa encerrada entre las dos de arcilla impermeable es la de la capa freática del valle; con el objeto de cortar esta capa para obtener el agua en los pozos comunes, se hacen excavaciones que la alcanzan á profundidades variables, pero que no atravesando más capas que las citadas, no suministran más datos que la existencia en el aluvión de fragmentos rodados del Cerro de Mercado. Falta, pues, el conocimiento del subsuelo del valle de Durango; buscaremos en la naturaleza, en las relaciones mutuas de las rocas que circundan al valle, los datos que nos puedan conducir á la determinación de la edad geológica del yacimiento de que nos ocupamos.

La serie de colinas y lomeríos que rodea á la ciudad de Durango está formada exclusivamente por rhyolitas. El color dominante de esta roca es el blanco agrisado, que pasa al rosa y violado pálido, y en algunos lugares al rojo ó violado obscuro.

La rhyolita más cercana al Cerro de Mercado es la que presenta el color rosa; en el cerrito del Santuario, situado casi al W. de aquél y muy inmediato, se observa el violado pálido en casi todo el cerro; pero cerca de la presa de Morgan aumenta de intensidad y es de un color violado obscuro. Por el contrario, en el Cerro del Calvario, situado en el centro de un barrio de la ciudad de Durango, el color dominante es el blanco más ó menos agrisado, color que es muy frecuente en el Cerro de los Remedios, situado al S.W. de la ciudad de Durango y del cual el Cerro del Calvario es un apéndice. Hacia la parte del S.W. del Cerro de los Remedios y en los contrafuertes que en esa dirección se desprenden y que llegan hasta la garita de Analco, vuelve á presentarse el color rojo más ó menos intenso, y además, en este lugar la roca presenta una estructura muy curiosa, cuyo estudio, hecho por el Sr. Ordóñez, se encontrará más adelante.

En ciertos lugares, como en el Cerro del Calvario, se encuentra en abundancia el kaolín (kaolinita) en grandes bolsas; es bastante puro y de muy buena calidad y se usa para la fabricación de objetos de alfarería tosca. Como en este lugar hay muchas construcciones, es difícil á primera vista formarse idea de la importancia del yacimiento.

La rhyolita se halla cubierta por una capa de toba blanca agrisada ó rojiza, compacta y resistente, de fácil labra y que se usa mucho en Durango como material de construcción.

El estudio de las rocas recogidas en las cercanías de Durango fué hecho por el Sr. Ingeniero Ezequiel Ordóñez y lo reproducimos á continuación:

"Una interesante variedad de rhyolitas se encuentra en las cercanías de la ciudad de Durango, en el Cerro de Mercado y en los contrafuertes y dependencias de esta montaña, en íntima relación en edad y naturaleza con las montañas del Sistema de la Sierra Madre, de la que el Cerro de Mercado pudiera considerarse como un elemento avanzado en la Mesa Central.

"En las rhyolitas de Durango, el color dominante es el blanco agrisado, que cambia á veces en gradación al rojo ó violado. Estas rocas yacen bajo la forma de corrientes cubiertas por capas de tobas de diverso espesor, de color gris ó rojo, en las que obra con cierta intensidad la erosión.

"La naturaleza petrográfica de las rhyolitas se distingue aun á la simple vista, en unos casos por la abundancia del cuarzo en la forma de gruesos granos profusamente diseminados, y en otras por el aspecto general de la pasta de la roca, que es dura, compacta, de fractura frecuentemente conchoide que caracteriza á los magmas petrosilizosos de estas rocas. En efecto, para todo un grupo de rhyolitas del Cerro de Mercado, el magma felsítico en más ó menos avanzada desvitrificación se observa dando lugar á una acción más ó menos intensa de la luz polarizada; pero raras veces encontramos agregaciones esferolíticas, lo que hace en algunos casos, juntamente con la ausencia de fenocristales, que la roca tenga á la simple vista la apariencia de un simple petrosílex ó felsita. En otros casos, por el contrario, numerosos cristales feldespáticos que alcanzan hasta un centímetro de longitud y granos de cuarzo hacen la roca porfiroide.

"Numerosas puntuaciones opacas de óxido de fierro en el magma dan en muchos casos á la roca la coloración rojiza; igualmente pajillas finas de mica en más ó menos avanzada descomposición.

"En el magma se encuentran frecuentemente abundantes segregaciones circulares ó elípticas de grupos de láminas de tridymita que tapizan las pequeñas cavidades, y muestran que su producción data de los últimos momentos de la consolidación.

"La presencia del mineral de fierro bajo la forma de una gruesa masa filoniana llenando una fractura que atraviesa el Cerro Mercado, de edad más reciente que las rhyolitas que la encajonan, á juzgar por las ideas del autor, ha producido en las rocas, sobre todo en aquellas más vecinas del criadero, ciertas modificaciones que se manifiestan generalmente por una silicificación y por manchas y vetillas de cuarzo, la descomposición de los feldespatos y la existencia de la hematita roja aislada en el magma en granos y vetillas como por un fenómeno de impregnación. Accidentalmente en estas rhyolitas el cuarzo hialino finamente cristalizado aparece como una exuda-

ción, dando al mismo tiempo calcedonia arriñonada que cubre el espacio de pequeñas cavidades; el magma se vuelve en partes terroso y cambia del color rojo obscuro al blanco amarillento y verdoso.

"En cuanto á los feldespatos de primera consolidación en las rhyolitas del Cerro de Mercado, el sanidino se observa frecuentemente, más ó menos alterado y transformado en partes en una materia opaca; la plagioclasa, generalmente la oligoclasa, está menos alterada por regla general, aunque siempre corroída, ofreciendo cristales incompletos. El cuarzo se encuentra en grandes playas irregulares.

"En el Cerro de los Remedios las rocas se caracterizan por la rareza de elementos de primera consolidación, sólo algunos pequeños granos de cuarzo se ven diseminados en una pasta compacta. En vez de ofrecer la estructura en bandas alternativas de diversa coloración, la masa más obscura se distribuye irregularmente como sirviendo de cemento á glóbulos de una pasta de color más claro. En las láminas delgadas, en efecto, se observa que hay una tendencia al desarrollo esferolítico sin que las esferolitas lleguen á adquirir una completa individualidad; por otra parte, en el centro de algunas de las partes menos cargadas de granulaciones se ve un tapiz de granos de cuarzo.

"En algunas rocas de la misma procedencia y de un aspecto semejante, el magma petrosilizoso contiene raras esferolitas y sobrenadan algunos cristales microlíticos de oligoclasa como si la roca tendiera á una dacita. Estas rocas en partes se hacen porosas y las pequeñas cavidades se tapizan de finos granos de cuarzo, de láminas de tridymita y de una que otra laminita de hematita.

"En el cerrito del Calvario en la ciudad de Durango, las rhyolitas en su mayor parte están muy silicificadas y para completar la lista de variedades de las rocas del grupo de cerros inmediatos á la ciudad de Durango, citaremos las rhyolitas vítreas del Cerro de la Mojonera, compactas, de color pardo obscuro, de magma con principio de desvitrificación; las rocas rosadas con finas laminillas de mica del Rancho de la Virgen, y las rhyolitas muy porfiroides con grandes cristales corroídos de cuarzo, sanidino y oligoclasa del Santuario. En el subsuelo de la ciudad y en las lomas inmediatas al Cerro Mercado existen grandes masas de rhyolitas, cuyas superficies están erizadas de grandes glóbulos que imitan la estructura arriñonada y en las que el microscopio revela la formación esferolítica del magma.

"Las rhyolitas del barrio de Analco merecen una mención especial por la gran variedad que de ellas se encuentra, pudiendo obtener muestras de rocas muy vítreas, de magma violado (litoiditas), otras silicificadas, de color rojo, y por último, rocas muy esferolíticas, con estructura en delgadas bandas de felsita compacta separadas por cintas delgadas de una materia terrosa blanca.

"De los Remedios y de la garita de Analco se obtienen magníficos ejemplares de rhyolitas con litofisas muy semejantes en aspecto y color á las

rhyolitas procedentes del Yellowstone National Park, que han sido extensamente descritas por Iddings. [1]

"Las más grandes litofisas que se observan en las rocas de los Remedios alcanzan hasta 4 ó 5 centímetros de diámetro y forman como la parte esponjosa de una pasta ligeramente violada, compacta, de aspecto microscópico enteramente análogo á las rocas felsíticas del Cerro Mercado, que no tienen cristales de primera consolidación y que por lo tanto, pueden recibir el nombre de litoiditas, aplicado con frecuencia á esta variedad de rhyolitas.

"Entre las granulaciones opacas de este magma felsítico se ven agrupados y mostrando la estructura fluídea, pequeñas barritas y triquitas también opacas y al parecer de la misma naturaleza que las granulaciones.

"En las muy delicadas capitas concéntricas esféricas que constituyen las litofisas hemos podido distinguir el cuarzo en muy finos cristales bipiramidados, agrupados ya en forma radial normal á la superficie de la capita delgada que los lleva, ó bien distribuídos irregularmente; la tridymita frecuentemente se encuentra en laminitas muy finas, difíciles á veces de ver aun con el auxilio de una lente.

"El cuarzo bipiramidado es siempre más abundante que la tridymita y contiene numerosas inclusiones líquidas, á veces con burbujas gaseosas.

"El núcleo de esta serie de capitas sucesivas y muy próximas de las litofisas, que nosotros consideramos como los esqueletos de grandes esferolitas, está frecuentemente formado por magníficas rosetas de muy finos cristales de cuarzo hialino agrupados radialmente.

"En la superficie blanca y finamente irisada de las capitas se ven en gran número diminutas laminitas exagonales de hematita que se reconocen fácilmente por su intenso brillo acerado y por el color rojo intenso por transparencia. Existen también al lado de la tridymita y del cuarzo pequeños cristales de feldespato, difícilmente reconocibles por su pequeñez, pero semejantes á los que se encuentran en las litofisas de Obsidian Cliff. No hemos podido comprobar en las muestras la existencia de la fayalita.

"Es de notar que la tridymita, sin embargo de presentarse con cierta abundancia en las litofisas, no se encuentran, como lo hemos observado en algunas otras rhyolitas de Durango, en agregaciones ó nidos en la masa del magma petrosilizoso. Por lo tanto, la tridymita en las rocas con litofisas de los Remedios y de Analco, sólo se ha producido en el seno de las litofisas.

"Entre las rocas con grandes esferolitas agrupadas y que dan á la roca exteriormente el aspecto arriñonado y las rhyolitas con litofisas hay, á nuestro modo de ver, una absoluta igualdad y el mismo modo de formación, solamente que las rocas de grandes esferolitas compactas no han estado sometidas ya al fin de la consolidación, á la acción de vapores acuosos que han disuelto y substraído en parte los silicatos de composición del fel-

1. Iddings. Obsidian Cliff. 7th. Rep. of the U. S. G. S. Wash., 1885-86.

despato que han cristalizado simultáneamente con el cuarzo en las esferolitas, dejando en esta disolución el esqueleto cuarzoso y produciendo tridymita y hematita en la curiosa disposición que caracteriza á las litofisas. [1]

1. Un estudio más completo de algunas de estas rhyolitas se encontrará en el Boletín número 15, —Las Rhyolitas de México.



CRIADEROS DE FIERRO DE LA HACIENDA DE VAQUERIAS, EN EL ESTADO DE HIDALGO,

POR EL INGENIERO JUAN DE D. VILLARELLO Y DR. EMILIO BOSE.

DESCRIPCION TOPOGRAFICA.

La región de que se trata en las páginas siguientes está entre la Sierra de Pachuca y la Sierra Madre Oriental, comprendida en los Distritos de Atotonilco el Grande y Tulancingo, del Estado de Hidalgo. Forma una depresión amplia de fondo plano y se denomina Valle de Tulancingo. El fondo ancho y casi completamente plano de este valle está cortado por una profunda barranca llamada San Pablo, que en muchas partes tiene una profundidad de más de 700 metros. A esta cortadura principal desemboca, hacia el Este de la región, otra barranca mucho menos profunda, pero también de bordes acantilados, que se llama Barranca de las Granadas. Las otras barrancas que se encuentran en la región son de mucha menor importancia, tanto por su anchura como por su poca profundidad. Entre las anteriores cortaduras se encuentra el terreno casi plano y poco ondulado.

En la barranca de las Granadas y en el borde septentrional de la llamada de San Pablo se hallan los criaderos de fierro cuya descripción se encuentra en seguida. Todos estos criaderos están abajo del primer acantilado, que se encuentra con mucha regularidad en toda la extensión de la barranca cerca del borde. Algunos otros criaderos se hallan en las barrancas afluentes de la de San Pablo.

En el adjunto plano, que comprende solamente una parte del terreno estudiado, se dibujó sólo el borde de las barrancas con exactitud, porque la configuración en detalle aún no está concluída.

DESCRIPCION GEOLOGICA.

La composición geológica del terreno es en lo general bastante sencilla;

hay que distinguir entre sedimentos marinos y aluviones terrestres, fluviales y lacustres, y rocas eruptivas. Las rocas sedimentarias marinas pertenecen al Cretáceo, el resto al Terciario, Cuaternario y al Periodo Reciente.

Cretáceo.

El macizo primitivo está formado por el Cretáceo, que aflora en muchas partes del fondo de la barranca de San Pablo; podemos distinguir en él dos divisiones, á saber: la división de Necoxtla y la división de Maltrata. Vamos á describir su carácter general en lo que sigue.

División de Necoxtla.—Esta forma en la región de la cual se trata, la parte más antigua del Cretáceo. La división consiste de pizarras amarillas, rojas hasta grises, muy blandas, arcillosas y que contienen frecuentemente hojitas de mica, así como también pedacitos de pyrita; particularmente en su parte superior se intercalan muchas veces delgados lechos de caliza gris; algunas veces se halla también en la parte más elevada de las pizarras un banco, y á veces dos ó tres, de caliza, de un espesor de algunos metros; esta caliza contiene generalmente riñones de pedernal. En la barranca de San Pablo el carácter petrográfico es algo diferente del de la misma división en la barranca de la Calera, cerca de Huayacocotla. [1] Mientras que en esta última localidad las pizarras son más calcáreas y contienen también en varios lugares bancos fosilíferos de caliza, tenemos en la barranca de San Pablo enteramente la facies, que nos es bien conocida de la montaña de Orizaba [2] y tal como se halla también en muchos otros lugares del México meridional. En esta facies nunca se han encontrado fósiles hasta ahora, pero á veces hay una transición de ésta á otra un poco más calcárea ó arenosa, en la cual se encuentran entonces faunas más ó menos ricas; éstas pertenecen al periodo Aptiano y al Cenomaniano inferior, según los estudios hechos hasta ahora.

El espesor de las pizarras de Necoxtla no se puede determinar en la barranca de San Pablo, porque están fuertemente plegadas; los pliegues se dejan observar en numerosos puntos, particularmente bien en las barrancas secundarias que desembocan á la barranca principal; un bonito ejemplo para esto ofrece el arroyo de las Flores, cerca del camino de la Hacienda de Vaquerías á Atotonilco el Grande. El rumbo de las capas es aquí N. 25° W. con el echado dominante hacia el S.W.

División de Maltrata.—Esta división sigue directamente sobre la de Necoxtla. Se compone de calizas de color gris claro hasta negro, en bancos delgados que contienen siempre lentes de pedernal extendidos á lo largo casi en forma de bancos, como también nódulos de la misma materia. Es-

1. E. Böse.—Ueber Lias in Mexico. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 1898, p. 171.

2. E. Böse.—Geología de los alrededores de Orizaba. Bol. del Inst. Geol. de México. Número 13, p. 5.



L. G. BECERRIL. DIBUJ

CARLOS GOSSELIN S C. ANT. LIT. MOREAU-MÉXICO

MUNICIPIO DE METEPEC.

HDA. VAQUERIAS.

Hda. de La Luz.

MUPIO DE HUASCA.

DIST.º DE ATOTONILCO.

HDA DE APULCO.

DISTRITO DE TULANCINGO.

Barranca de San Pablo.

SAN SEBASTIAN.

DIST. ATOTONILCO EL GRANDE.

RIO DE S. PABLO Ó DE TULANCINGO.

LA CALERA.

EL CHILAR.

EL DONGO.

RANCHO DE LA MORA.

RANCHO DE PALMILLAS.

MAJADILLAS

LOS PEREZ

Escala á 50,000.
Curvas á 50 metros.

PLANO
de los criaderos
de fierro
de la Hdä
DE VAQUERIAS
EST. DE HIDALGO.

L. G. BECERRIL. DIBUJÓ.

tas calizas son sumamente pobres en fósiles; en la barranca de San Pablo no se ha encontrado ninguno hasta la actualidad. Pero como estas calizas se unen íntimamente á las calizas de Escamela sobrepuestas, y como probablemente hay que considerarlas como facies de la parte inferior de la división de Escamela, casi es seguro que pertenezcan al Cenomaniano. Es verdad que en nuestro caso la determinación puede hacerse solamente según la semejanza petrográfica; pero en la vecina barranca de la Calera, cerca de Huayacocotla, tenemos la prueba de que estas calizas de Maltrata pertenecen ya á las capas superiores del Cretáceo Mexicano (que comprende en el Sur del país, generalmente hacia arriba, el Cenomaniano y cuando mucho el Turoniano, faltando completamente el Senoniano), porque debajo de ellas se hallan capas con Monopleura y Nerinea.

Tampoco de estas calizas se puede determinar el espesor, pues en primer lugar están fuertemente plegadas y en segundo, falta el techo, es decir, las calizas de Escamela. El modo de plegamiento está representado en el corte 4 que viene en una de las páginas siguientes. Las calizas están muy bien descubiertas cerca del Rancho de San Pablo, un poco barranca arriba. Por desgracia no es posible reconocer allí cuáles capas cubren á aquellas directamente, porque en la parte inferior de la barranca los flancos están casi completamente cubiertos por una capa bastante gruesa, compuesta de brechas volcánicas trituradas y acarreo.

Terciario.

Considerando las relaciones particulares de la región, no podemos separar en sentido tectónico las rocas eruptivas de las sedimentarias, porque en verdad las rocas eruptivas hacen aquí el papel de una capa; además, están separadas las corrientes de lava por brechas que contienen fósiles, de modo que son de la mayor importancia para la determinación de la edad de las rocas modernas. Pero como se trata en este lugar de la descripción de las rocas que componen el terreno, queremos separar siempre las rocas macizas eruptivas de las brechas trituradas y aluviones, juntando la descripción de las últimas á la de las rocas sedimentarias del Cretáceo.

Brechas volcánicas antiguas y aluviones.—Como tales consideramos los depósitos que cubren el Cretáceo y que en parte consisten en calizas y pizarras trituradas, en parte en brechas volcánicas removidas por el agua. Por desgracia no hay en ninguna parte afloramiento bien descubierto, pero parece que todos los componentes ya mencionados demuestran una estratificación casi horizontal, con ligera inclinación correspondiente al curso de la actual barranca de San Pablo. Lo más instructivo es en este caso aquella parte de la barranca que queda entre la de Regla y el arroyo de las Flores, donde se deja reconocer una inclinación decidida en el terreno, en el tiempo terciario, á la cual siguen todas las capas, incluídas también las corrientes de Labradorita y Basalto. En esta rinconada observamos

también (en afloramientos bien descubiertos en el camino de la Hacienda de Vaquerías á Atotonilco el Grande) que la corriente de Labradorita se divide en seis corrientes de menor espesor que están separadas por brechas. Interesante es aquí que las brechas inferiores, á saber, las que están situadas entre la corriente más baja y la segunda de las seis, son con toda seguridad en su mayor parte de origen rhyolítico y, por supuesto, nada tienen que ver con la Labradorita; la brecha contiene un número considerable de pedazos de Rhyolita, piedra pómez, etc., y está impregnada considerablemente de ópalo común. Proviene, pues, de una erupción local más antigua de Rhyolita, cuya presencia es importante también en otro sentido, por lo cual volveremos á hablar del asunto más adelante.

La parte inferior de las brechas y de las rocas sedimentarias trituradas tendrá más ó menos un espesor de 100 á 150 metros; naturalmente, este espesor cambia según la configuración primitiva del terreno Cretáceo durante el transcurso del Terciario. No se han encontrado fósiles en estos depósitos hasta ahora; la capa de lignita que se encuentra en el arroyo de las Flores es con toda seguridad de edad más moderna, como lo demostraremos más adelante.

Las cubiertas de brechas que están situadas entre las seis corrientes de Labradorita son de poca importancia, como lo prueba la circunstancia de que no se dejan seguir más que parcialmente en la parte superior de la barranca.

Brechas más modernas.—Este depósito queda entre las corrientes de Labradorita y la de Basalto y es de la mayor importancia para el presente estudio, porque contiene los criaderos de fierro. El depósito consiste en brechas y contiene pedazos de pómez, como también Labradorita triturada y probablemente también Rhyolita. La parte superior de las brechas está enteramente transformada en semiópalo, la parte que sigue para abajo está fuertemente impregnada de fierro y ácido silícico, y más abajo se encuentran las brechas más puras. El depósito de los minerales citados se ha hecho mecánicamente, porque se vé bajo el microscopio que los cristales de feldespato están intactos y en ninguna parte descompuestos. En varios lugares se observa claramente que el agua circuló en estas brechas y que precipitó los depósitos de ácido silícico y fierro. Como estas aguas eran tan ricas en sílice, habrán pasado probablemente por las Rhyolitas que tenemos que describir adelante; eran manantiales termales cargados de diferentes minerales y de origen volcánico.

La brecha más moderna no se presenta como capa uniforme, ni en los cortes como una faja, sino cambia considerablemente en su espesor, como también en su contenido de ácido silícico y fierro. En los cortes del terreno, en las barrancas, se nos manifiesta la naturaleza del depósito, que tiene la forma de lentes que están unidos por fajas delgadas. Se observa esto perfectamente bien en la barranca de San Pablo, en todos los lugares donde se explota ó se explotaba el fierro; afloramientos particularmente buenos existen en la región de San Sebastián, allí donde se encuentran las boca-

minas de Nuestra Señora de la Luz. Muy instructiva es también la mina de la Reunión en el arroyo del mismo nombre. Allí se observa cómo las brechas cambian en cuanto á su espesor en distancias muy cortas, y cómo el mineral de fierro desaparece completamente en algunos lugares y queda solamente un banco que es á veces bastante delgado, de brecha silicificada. Muy instructiva es también la mina de Terreros, aunque en esta localidad los afloramientos no sean muy favorables. Observamos allí un depósito particularmente grueso de las brechas, pero no es posible determinar el espesor porque en ninguna parte está descubierta la labradorita. El basalto parece faltar, por lo menos no se puede observar, sino que sobre las brechas quedan directamente aluviones recientes. La falda está cubierta por un grueso depósito de brechas trituradas y conglomerados recientes, cuyos componentes principales son brechas, piedra pómez, pedazos de basalto y mineral de fierro. El espesor del depósito de fierro será, con toda seguridad, de unos 20 metros, mientras que generalmente en las otras lentes no es más de 0,5 á 1 m. En este bolsón se ve claramente el efecto producido por la circulación del agua; la brecha está silicificada y contiene en muchos lugares un mineral de fierro bastante rico.

Imaginémonos ahora que la cubierta de basalto sea quitada; entonces hay que suponer que una cubierta muy extendida de brecha volcánica se presentará á nuestros ojos; ésta rellenaba las irregularidades de la corriente de labradorita y formó colinas en varios lugares. La cubierta tenía una inclinación general en el sentido de la barranca actual de San Pablo, y además una inclinación fuerte hacia la parte media, formando así un valle que siguió más ó menos el curso actual de la barranca principal. Este punto lo trataremos más extensamente en el capítulo de la historia geológica de la región. Aquel paisaje de colinas en el cual salieron al exterior numerosos manantiales termales, cargados de ácido silícico y fierro, fué cubierto más tarde por una corriente extendida de basalto.

En la brecha ferruginosa se encontraron (en la mina Transvaal) restos no muy numerosos de vertebrados. Por desgracia, estos fósiles fueron transportados por el agua y en parte rotos y corroídos, de modo que solamente pedazos de huesos, muelas y colmillos poseemos, lo que dificulta mucho su determinación. Todos estos fósiles están fuertemente impregnados de fierro y en parte cubiertos por una costra del mismo metal. Los huesos son completamente indeterminables. Entre las muelas se encuentran molares de *Mastodon* y *Equus;* los colmillos pertenecen al primer género. Los molares del mastodonte pertenecen muy probablemente al *Mastodon Shepardi Leidy.* Como se han encontrado solamente pedazos aislados de los molares del *Mastodon*, no se pueden determinar, porque el *M. Shepardi* se distingue del *M. Humboldti* y el *M. Andium*, principalmente por el encorvamiento de la sínfisis. Del *Mastodon trópicus Cope* se distingue nuestra especie por el menor tamaño y por el número de las colinas del último molar. Nuestros ejemplares están algo desgastados por el uso y por esto la mitad exterior

de la colina demuestra una figura de trébol, mientras la interior presenta una forma oval en la superficie. Esta es la característica del grupo *M. Shepardi*, al cual pertenecen también *M. Humboldti* y *M. Andium.* Felix y Lenk [1] dicen que el *M. trópicus* muestra la figura de trébol en las dos mitades de las colinas, mientras Zittel [2] parece considerar el *M. trópicus* como idéntico con *M. Humboldti.* En verdad, es muy difícil distinguir las diferentes especies del grupo citado cuando no hay quijadas enteras. Después de una comparación con el material existente en el Instituto Geológico, resultó como lo más probable que los molares ya algo desgastados por la masticación correspondan mejor con los de *M. Shepardi Leidy*, tanto por su tamaño como por su forma, y con toda seguridad, por lo menos pertenecen á este grupo de los mastodontes.

La determinación del molar de caballo es todavía más difícil, porque pertenece á la quijada inferior, cuya forma es casi igual en las especies que hay que tomar en consideración, pero probablemente pertenece el ejemplar al *Equus excelsus Leidy*, tanto por la forma de los pliegues del esmalte en la corona, como por su tamaño.

Tanto el grupo de *Mastodon Shepardi Leidy* como el *Equus excelsus Leidy* pertenecen al Plioceno Superior y al Pleistoceno Inferior, y cualquiera que sea la especie exacta, la determinación de la capa queda fijada. Esta determinación de la edad tiene gran importancia para la fijación del tiempo en el cual hicieron erupción las labradoritas, los basaltos y quizás las rhyolitas.

Las rocas eruptivas.

Tenemos que distinguir entre tres diferentes rocas eruptivas, á saber: las rhyolitas, las labradoritas y los basaltos, de las cuales las primeras son las más antiguas. Mientras los últimos demuestran una extensión considerable, el afloramiento de las rhyolitas se limita, hasta donde llegan nuestras observaciones, á una pequeña colina llamada el Cerrito de Vaquerías, que se levanta en la llanura cerca de la Hacienda de Vaquerías. A continuación pasamos á describir la distribución y el carácter de las rocas.

La Rhyolita.

La pequeña colina llamada el Cerrito de Vaquerías, que se levanta de la llanura cerca de la Hacienda de Vaquerías, consiste completamente de rhyolita, que tiene la forma de cúpula. Está circundada ó rodeada por los aluviones modernos y cuaternarios, las corrientes de basalto y labradorita, las brechas del Plioceno Superior y las brechas trituradas y aluviones que descansan directamente sobre el Cretáceo. No se puede obtener un corte á tra-

1. Felix und Lenk.—Beitraege z. Geol. u. Pal. d. Rep. Mexico. III, p. 133.
2. Zittel. Traité de Paléontologie. IV, p. 466.

vés de la Rhyolita, porque sólo la parte más alta está descubierta. La rhyolita es la roca eruptiva más antigua de la región, porque las brechas más bajas, que están entre las dos corrientes más bajas, contienen pedazos de esta roca. Como la labradorita ya es del Plioceno Superior, es claro que la rhyolita debe haber hecho su salida ó en el Plioceno Inferior ó en el Mioceno Superior.

La Labradorita y el Basalto.

La labradorita, como también el basalto, se dejan seguir por toda la barranca de San Pablo y del mismo modo se puede reconocer su presencia en las numerosas barrancas afluentes. La labradorita se puede seguir naturalmente sólo hasta allí, donde hay todavía cortaduras profundas en la llanura del valle de Tulancingo. Pero la corriente de basalto está visible en muchas partes de la superficie del valle mencionado, su punto de salida eran los cráteres en la montaña inmediata á la estación de las Lajas del ferrocarril Hidalgo, y recorre desde allí todo el valle de Tulancingo.

Como ya lo hemos mencionado, demuestran los cortes en el camino de la Hacienda de Vaquerías á Atotonilco el Grande, que la labradorita, aparentemente tan compacta en su parte superior, se compone de seis diferentes corrientes de un espesor poco considerable; por consiguiente, hay que suponer que la corriente poderosa se formó por una serie de erupciones que siguieron una á la otra. Estas corrientes probablemente se enfriaron más pronto en su extremo que en su origen; se formaron brechas sobre las partes más lejanas y más bajas, mientras que tales brechas, más cerca del punto de salida, ó faltan completamente ó son de un espesor mínimo. Siempre hay también que tener en cuenta que los afloramientos en las partes accesibles de la barranca en lo general no son buenos; cortes verdaderamente continuos existen solamente en las barrancas secundarias, cuyos acantilados no son accesibles. Es, pues, muy posible que también en la parte superior de la barranca las diferentes corrientes de labradorita estén separadas por brechas, pero hasta ahora no podemos dar la prueba de esto.

La labradorita se muestra generalmente en lajas ó como masa maciza, casi nunca en columnas.

La corriente de basalto es aparentemente uniforme en todas sus partes; tiene en lo general un poco más de 100 metros de espesor. La dirección de esta corriente es la misma que la de labradorita, es decir, en lo general, siguiendo el descenso de la barranca de San Pablo. La corriente cubre casi en todas partes las brechas del Plioceno Superior, descritas anteriormente, de modo que forma el techo de los criaderos de fierro.

Sólo en una de las localidades estudiadas por nosotros, á saber, en la mina de Terreros, encontramos una excepción: allí falta el basalto. El criadero obtuvo aquí un espesor mayor y formó probablemente una colina que

era más alta que la masa de la corriente de basalto y por esto no fué cubierta por la roca eruptiva.

El basalto se muestra generalmente macizo ó en columnas, menos frecuentemente se encuentran lajas. Hay columnas muy bonitas cerca de la Loma ancha, en la mina de Nuestra Señora de la Luz, y columnas muy graciosas se encuentran en el camino de la Hacienda de Vaquerías á Atotonilco el Grande. Estas columnitas están en la base de la corriente y contienen una cantidad considerable de fierro.

Descripción microscópica de las rocas, por E. Ordóñez.

Cerrito de Vaquerías.—Roca de color gris, ligeramente violada, con numerosos cristales de feldespato diseminados. Al microscopio se ve constituída de un magma amorfo y microfelsítico, con algunas microlitas de sanidino de extremos bifurcados. El magma se ha segregado en partes en forma esferolítica. Cada esferolita está formada por hacecillos fibrosos de microfelsita que son débilmente alumbrados á la luz polarizada. Los fenocristales son de sanidino en macles de Carlsbad. Hay pequeños nidos de tridymita en la masa de la roca. La predominancia de la microfelsita en la roca la define como una rhyolita.

Camino de Buenavista á San Pablo.—La roca es de color pardo, muy cristalina, pues la materia amorfa casi no existe. Es una asociación de feldespato microlítico de labrador con fluidalidad poco marcada, amoldados los cristales por grandes playas y secciones prismáticas de piroxena augita. El olivino, primer mineral consolidado, está bastante alterado. Esta roca debe considerarse como un melafiro y procede de las partes inferiores de una corriente de lava. La roca del medio de la misma corriente tiene igual grado de cristalinidad que la anterior, aunque de grano más fino. Debe considerarse también como un melafiro.

La roca de la parte superior de la misma corriente es una lava muy ampollosa de color gris, de magma escaso, amorfo y globulítico, con abundantes microlitas en ordenación fluidal, de labrador, alargadas y macleadas según la ley de la albita. Cristales de piroxena de pequeña dimensión, microlitas del mismo mineral; algunos cristales de olivino que se encuentran accidentalmente están transformados en óxido rojo de fierro. Las cavidades de la roca están tapizadas de una costra de limonita, de calcedonia y de arcilla, producto de circulación de aguas calientes. Esta roca es del tipo de las labradoritas, que abundan en corrientes en la región.

La roca que proviene de la corriente superior es un tipo de transición del melafiro al basalto, porque la materia amorfa comienza á presentarse de nuevo. La misma asociación que en las rocas anteriores: labrador, amoldado por augita, y olivino alterado. La roca tiene grandes nidos de tridymita.

Loma Ancha.—En cuanto á la roca procedente de la Loma Ancha, se aproxima más al tipo de los basaltos. Su color es negro, muy compacta,

con un grado de cristalinidad bastante grande para reducir la materia amorfa á mínima cantidad y solamente llenando los pequeños intersticios entre los cristales. Si se trata de una roca procedente de una corriente de lava, el ejemplar viene de las partes de dicha corriente que se enfriaron más lentamente. El escaso magma es globulítico, las numerosas microlitas son de labrador, macleadas con la extinción del labrador. La augita en numerosos granos y secciones amolda al feldespato, y el olivino en pequeña cantidad está alterado. Tiene la roca grandes granos de óxido negro de fierro.

Mineral de fierro.—Las muestras de mineral de fierro de la mina Terreros dan idea del modo como se han depositado los óxidos de fierro. Una de las más instructivas nos da al microscopio el carácter de una brecha constituída: 1º, de fragmentos pequeños de cuarzo, de feldespato, en su mayoría de sanidino y algunas microlitas; 2º, pedazos de pómez y de rhyolita, es decir, de microfelsita y esferolitas, semejantes á la roca del cerrito de Vaquerías; 3º, fragmentos de labradorita y basalto semejantes á las rocas de esta especie antes descritas. Estas distintas partes se hallan soldadas por la sílice bajo la forma de ópalo de concreción, de color amarillo á la luz natural, el que envuelve como producto de último depósito óxidos rojo y amarillo de fierro, que se ven á veces concrecionados con el ópalo y á veces en la forma de granos como retenidos mecánicamente por el ópalo; este último caso es el más frecuente, lo que quiere decir que dicho fierro no procede de una sustitución con los elementos de las rocas, sino que llegó hasta ellas ya libre, é impregnándolas, ó bien en disolución en aguas cargadas de sílice y por lo tanto de ácido carbónico.

En otros ejemplares de la misma mina la penetración del fierro es más completa, el ópalo menos abundante, pero juntamente con él algunas cavidades tienen un reborde de tridymita. Los fragmentos de las rocas son menos claros y en parte han desaparecido, quedando solamente los fragmentos de fenocristales de feldespato, que tienen la particularidad de mostrar, cerca de los bordes, hileras en rosario de multitud de vesículas gaseosas, indicando con eso que han sido sometidos á una alta temperatura, pues es el fenómeno muy parecido al que ofrecen los feldespatos en las enclaves.

En las muestras muy ricas en fierro como en las de la Loma Ancha de las laderas del Cerro de San Sebastián, no se observan ya fragmentos de rocas ni depósito de ópalo, sino simplemente óxidos ferruginosos terrosos, sin ninguna estructura de concreción.

En la mina Terreros, juntamente con los óxidos de fierro, vienen fragmentos de semiópalo puro, de colores gris y pardo.

Cuaternario y aluviones recientes.

Al Cuaternario y al Período Reciente (una separación no es bien posible aquí) pertenecen todas las brechas trituradas que cubren el basalto, como

también los restos fluviales y lacustres que se encuentran en la barranca principal, así como en algunas de las secundarias. Describiremos estos depósitos en el orden siguiente: las brechas que cubren el basalto, los restos fluviales de la barranca principal y los depósitos lacustres del arroyo de las Flores.

Las brechas trituradas que cubren el basalto contienen abajo (véase el corte 2) una acumulación de pedruscos de basalto que están unidos por una masa de brechas volcánicas trituradas; sobre esto sigue el detritus más fino con aislados pedruscos de basalto, en cantidad que va disminuyendo, hasta perderse arriba casi por completo. Parece que á toda la masa le falta la estratificación.

En estas capas se encontró, cerca del lugar llamado Magueyes Verdes, á una profundidad de dos metros de la superficie, una muela de *Elephas primigenius Blumb.*, lo que nos prueba que el Cuaternario llega casi hasta la superficie y que las capas recientes ó faltan ó son insignificantes.

Donde el basalto no está cubierto por el detritus se ha descompuesto la roca eruptiva por la circulación del agua, formando una cubierta más ó menos gruesa de caliche.

En cuanto á los restos fluviales en la barranca principal, así como en las secundarias, tenemos que distinguir dos divisiones, á saber: el acarreo estraficado que se depositó durante la formación de la barranca misma, y por otra parte el material acarreado más moderno, que cubre hoy en masas grandes los flancos de la barranca. Hay que considerar estos últimos como más modernos, porque cubren en varios puntos los restos que hemos mencionado en primer lugar. Naturalmente, esto no prueba la misma relación de edad para todas las partes de los depósitos, pero permite suponerla como probable. Los depósitos más antiguos se encuentran en diferentes lugares de la barranca en altura diferente, cubriendo la roca primitiva, sea ésta basalto, labradorita, brechas ó sedimentos cretáceos. Estos depósitos consisten en parte de arenas de grano más ó menos grueso de basalto, de labradorita, de pómez y de brechas trituradas; por otra parte de brechas trituradas, haciendo una toba que muchas veces está colorida por ocre. Donde el depósito está casi en el fondo de la barranca hay naturalmente también calizas y pizarras cretáceas entre los componentes. Cerca de la mina del Milagro encontramos á la altura de la labradorita el corte siguiente (de arriba para abajo):

2 metros.	toba, conglomerado fino alternando con arena, toba, arena, toba,
0,05 m.	toba de espesor irregular.
0,15 m.	arena,
0,02 m.	toba colorida por ocre,

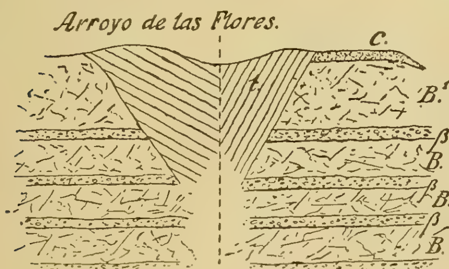
1 m. { arena fina,
arena más gruesa,
conglomerado de piedras rodadas.

Aunque este afloramiento tenga sólo algunos metros de espesor, es no obstante instructivo; se observa una estructura paralela discordante clara; con seguridad estos restos fueron dejados en sus lugares durante la formación de la barranca, que en este lugar todavía es relativamente angosta; la coloración de algunos lechos por el ocre se habrá hecho probablemente por material del criadero de fierro llevado por el agua.

Depósitos semejantes se observan también en las dos riberas de la barranca arriba del rancho de San Pablo, en una altura de cerca de 1,900 metros, y otro más en una altura de cerca de 1,800 metros; el último es de extensión considerable y está en parte bien estratificado. Podemos, pues, probar la existencia de los restos de dos terrazas, pero fundándose en los afloramientos al lado meridional cerca de San Pablo, es probable que existan todavía algunas más.

El material triturado y conteniendo pedruscos de basalto y labradorita que cubre los flancos del valle, no da motivo para observaciones especiales; es el acarreo común de pendientes mezclado con material que fué acarreado desde la planicie y fué condensado en una masa compacta por los efectos de las lluvias. Cubre todos los depósitos, desde el Cretáceo hasta el basalto más moderno y no muestra, hasta donde llegan nuestras observaciones, ninguna estratificación.

Respecto á depósitos lacustres, finalmente, sólo podemos citar uno en el arroyo de las Flores. Se trata en este caso de un banco no muy poderoso de lignita. Este banco se encuentra en una altura de 1,455 metros, á saber, 255 metros abajo del borde de la llanura. Debajo del banco hay tobas con numerosos restos de plantas mal conservadas; el fondo está formado por pizarrras de Necoxtla fuertemente plegadas (rumbo N. 25° W., echado principal S.W.). Sobre la lignita se encuentran arenas más ó menos finas. Tenemos aquí, como se ve claramente, un depósito muy moderno, y hay que decir que la lignita es técnicamente inútil, tanto por su cantidad como por su calidad. La lignita debe haberse formado en una pequeña represa en forma de laguna en el arroyo de las Flores, las aguas deben haber bajado por el arroyo, como nos lo demuestra el corte en las partes superiores de esta pequeña barranca se-



1. *B* Labradorita.—*B'* Basalto.—*β* Brechas.—*t* Tobas.

cundaria. Vemos, pues, allí las condiciones representadas en el adjunto corte 1. A los dos lados de la parte de donde baja el arroyo actual están las rocas de las corrientes de labradorita y de basalto, con sus brechas correspondientes, y arriba se halla la capa de caliche. Entre los basaltos, etc., se hallan poderosas capas fuertemente inclinadas de brechas trituradas, lo que prueba que se había formado en este lugar una antigua barranca antes que la barranca de San Pablo hubiese llegado hasta su profundidad actual; aquella barranca fué rellenada después por acarreo. En el fondo de la cortadura se acumuló el agua, numerosas plantas fueron acarreadas y así se formó una capa de restos de plantas más ó menos destruídas, que se transformó en lignita en el curso del tiempo. Como la barranca ha cortado el basalto y como la abra fué rellenada después, hay que considerar la lignita como de una edad bastante moderna, es decir, cuando mucho del Cuaternario.

Fenómenos volcánicos en la actualidad.

Como últimos restos de la acción volcánica debemos considerar los manantiales termales de Arroyo Seco y de Acaseca. El manantial de Arroyo Seco, que está en una barranca cerca de la Hacienda de Vaquerías, contiene peróxido de fierro, ácido silícico, alúmina, cal, ácido sulfúrico y ácido fosfórico. El manantial está captado, de modo que no se puede observar la salida del agua de la roca; por la coladera por la cual viene el agua á la superficie sale en forma de copos una concreción ferruginosa cuya composición es: $Si\,0^2 = 40\ \%$; $Fe^2\,0^3 = 60\ \%$; la salida de los copos no se hace regularmente sino alternando en cantidades mayores y menores. El agua tenía en la coladera 30° C., siendo 22° C. la temperatura del aire.

El segundo manantial, llamado Acaseca, no forma depósitos; contiene bastante sulfídrico libre y tiene una temperatura de 45° C., siendo su composición la siguiente:

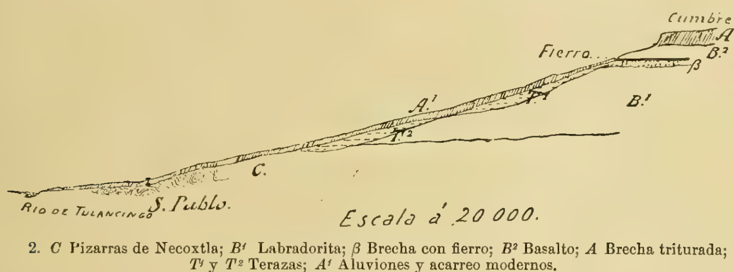
disueltos en CO^2.	$Si\,0^2$	0.0267	0.2756 gs. por litro, precipitables por ebullición.
	$CO^3\,Ca$	0.2414	
	$CO^3\,Mg$	0.0071	
	$CO^3\,Fe$	0.0004	
	NaCl	0.0607	
	$CO^3\,Na^2$	0.2014	
	Materia orgánica	vestigios	
	Total residuo:	0.5377	gramos por litro.
	Residuo obtenido por evaporación:	0.5401	,, ,, ,,

Historia geológica de la región.

Para hacer la historia geológica de la región, tenemos que distinguir desde luego dos grandes divisiones en ella, á saber: la que comprende el tiempo antes del gran movimiento orogénico y la que siguió á ésta. En

ésta. En la naturaleza está expresado esto por la situación de las capas, comprendiendo en esta expresión también las rocas eruptivas, porque en sentido geológico presentan en este caso completamente las cualidades de capas. En nuestra región sólo tomaron parte en el levantamiento que sufrieron las capas de las montañas mexicanas, en el Terciario antiguo, [1] los sedimentos cretáceos; sólo ellos están, pues, fuertemente plegados y ninguno de los depósitos más modernos muestra dislocaciones considerables.

Cualquiera de los cortes desde la llanura del Valle de Tulancingo hasta el fondo de la barranca nos ilustra las condiciones geológicas en lo general; y se puede decir de antemano que los cortes por las riberas de la barranca principal son por lo general uniformes, y por esto nos limitamos á indicar dos que dan todas las relaciones que serán descritas en el texto. El primero baja de la cumbre, cerca del Rancho de Buenavista, por el Rancho de San Pablo, al Río de Tulancingo; el otro da la ribera izquierda del Arroyo de las Flores.

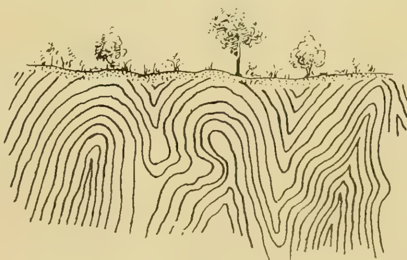


2. *C* Pizarras de Necoxtla; B^1 Labradorita; β Brecha con fierro; B^2 Basalto; *A* Brecha triturada; T^1 y T^2 Terazas; A^1 Aluviones y acarreo modernos.

En el fondo de la barranca vemos en muchos lugares las capas cretáceas; en el Rancho de San Pablo, barranca arriba, encontramos calizas de Maltrata, y barranca abajo, pizarras de Necoxtla; ambas presentan un plegamiento intenso. El bosquejo adjunto (corte 4) nos da una ilustración de la



3. *B* Basalto; *A* Brechas trituradas del Cuaternario.

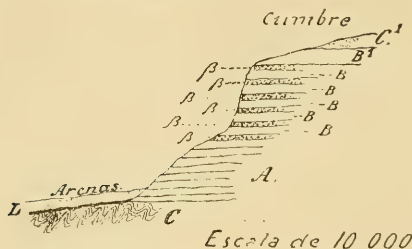


4. Caliza de Maltrata plegada; Rancho de San Pablo.

1. Dejamos aparte aquí, como de poca importancia, los fenómenos de levantamiento y hundimiento que tuvieron lugar en el Senoniano.

forma de los pliegues en la caliza de Maltrata, cerca del Rancho de San Pablo. Estas capas tomaron parte, por lo tanto, en el movimiento orogénico.

Sabiendo que la emersión del terreno, es decir, la retirada del mar, había comenzado en esta región en el Senoniano, tenemos que suponer que después del movimiento orogénico el terreno ya fué configurado por la erosión y que ya se habían formado valles y sierras, cuyo plan tectónico encontró su causa en el movimiento orogénico; la configuración más detallada la produjo la erosión, que rebajó las montañas y rellenó los valles, después de haberlos cortado hasta su nivel de base. Los restos de estos efectos de la erosión los vemos en los aluviones, que están debajo de las corrientes de labradorita. El valle que se formó aquí en el Terciario siguió más ó menos el curso actual de la barranca de San Pablo y se rellenó en parte.



5. Arroyo de las Flores, ribera izquierda. *C* Cretáceo, pizarras de Necoxtla; *A* Aluviones antiguos; *B* Labradorita; *β* Brechas del Plioceno; B' Basalto; C' Caliche; *L* Lignita.

Al lado de la erosión también el volcanismo tenía influencia en el cambio de la configuración del suelo. Erupciones de rhyolitas tenían lugar en nuestra región en el Terciario Moderno, es decir, en el Mioceno Superior ó Plioceno Inferior. Por falta de afloramientos no podemos probar si la rhyolita cubrió partes extensas del suelo; pero por la circunstancia de que en la vecina sierra de Pachuca las rhyolitas están muy distribuídas, y porque las brechas antiguas son en gran parte de naturaleza rhyolítica, debemos concluir que las erupciones de rhyolitas eran considerables, y la única cúpula de rhyolita que aflora, sobresale todavía hoy de la llanura del Valle de Tulancingo.

A las erupciones de rhyolitas siguieron las de labradoritas, y se pueden distinguir varias emisiones de lava que fueron interrumpidas, aunque la erupción pudo haber sido bastante continua y haber obtenido cierta importancia, porque se pueden seguir las corrientes desde la parte superior hasta la inferior de la barranca de San Pablo. La angostura de las brechas que no fueron trituradas por agua prueba que no hubo interrupciones considerables. La primera interrupción de importancia después de las emisiones anteriores tuvo lugar en el Plioceno Superior. Los restos fósiles encontrados en las brechas, que caracterizan el fin de la erupción de labradorita, nos demuestran que la ancha llanura formada por las corrientes de lava era habitada por animales ó que éstos existían en las montañas y que sus cadáveres fueron acarreados por el agua corriente á la llanura. Naturalmente, las corrientes de lava labradorítica siguieron el descenso del terreno, que existía ya después del levantamiento de la montaña y cuyo declive

era tan fuerte que los aluviones posteriores y las erupciones de labradorita no pudieron disminuir sino en parte. Como lo hemos mencionado ya, reconocemos en las brechas del Plioceno Superior las huellas del agua corriente y, á saber, de un agua que contenía grandes cantidades de ácido silísico y de fierro. Estas soluciones las encontramos en manantiales termales que en nuestro caso fueron manantiales minerales de origen volcánico, y como no contenían cal, deben haber obtenido su ácido silísico pasando por las masas de rhyolita. Como la mineralización tenía lugar en una extensión tan grande, hay que suponer la presencia de un gran número de manantiales termales, que por su parte indican una distribución considerable de la rhyolita. La salida de numerosos manantiales termales está generalmente ligada con el decrecimiento de un período de erupción; este era el caso también aquí, como lo prueba lo que hemos mencionado, de modo que nuestra opinión recibe así un nuevo apoyo. Varias circunstancias prueban que no hubo ninguna formación de lagos y pantanos. Sobre todo, existía todavía el antiguo descenso en el terreno, de modo que las corrientes de basalto seguían exactamente el curso de las labradoritas, pues no debe haber existido un impedimento, una barrera que causara una represa de las aguas; por otra parte, resulta del estudio microscópico de la brecha que contiene el fierro, que no existen restos de plantas en ella y que ninguna descomposición química bajo la presencia de restos orgánicos tuvo lugar, como sucede cuando se forma fierro palustre; [1] al contrario, había solamente un depósito de ácido silísico y limonita; los dos minerales encierran los cristales de feldespato de las brechas, sin que se observe en ellos descomposición. Tales depósitos de manantiales no son en manera alguna raros: citamos aquí los fierros (Bohnerze) de Württemberg, Suiza y Francia y quizá también los fierros cretáceos de Franconia (Baviera). J. Haniel cita [2] un gran número de criaderos que fueron formados por aguas minerales; dice que esos criaderos se formaron por aguas minerales que contenían ácido carbónico.

Después del depósito de los manantiales termales, que duró algún tiempo, empezó otro período de mayor actividad volcánica; siguió una fuerte erupción de basalto y sus lavas cubrieron la brecha casi en toda su extensión. A esta erupción siguió de nuevo la salida de varios manantiales termales, de los cuales duran algunos hasta la actualidad. Hoy todavía encontramos, particularmente en el manantial de Arroyo Seco, depósitos de fierro con mezcla de ácido silísico; esto nos muestra en la actualidad cómo se formaron los depósitos de fierro entre la labradorita y el basalto.

Al mismo tiempo empezó su trabajo la erosión. El amplio valle de Tu-

1. Citamos los estudios muy exactos y detallados de F. M. Stapf: Ueber die Entstehung des Seerze (Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 1866, p. 86–173), cuyos resultados fueron utilizados por J. H. L. Vogt (Salten og Ranen. Kristiania, 1891, p. 214) y Hj. Sjögren (Geol. Föreningen i Stockholm förh. 13, 1891, p. 373) para explicar la formación de criaderos de fierro en Suecia.

2. J. Haniel. Ueber das Auftreten und die Verbreitung des Eisensteins in den Juraablagerungen Deutschlands. Zeitschr. d. Deutsch. Geol. Ges. 1874, p. 59–118.

lancingo fué cubierto por aluviones, los ríos y arroyos acarrearon el materia triturado de las rocas eruptivas desde las montañas vecinas y lo depositaron en el suelo poco inclinado del valle. Durante el mismo período el río principal comenzó á hender la roca; en la barranca angosta y no muy profunda que se formó de esta manera se formaron depósitos fluviales cuando la corriente acabó de ser muy fuerte y rápida. Estos depósitos fueron destruídos en su mayor parte por la erosión lateral, de modo que quedaron sólo los pequeños restos que describimos antes. El curso de la barranca ya estaba determinado por un valle terciario, como lo hemos demostrado anteriormente. Este valle ya había sido cortado hasta su nivel de base (base level) y en parte era otra vez rellenado, pero con todo esto quedó aún un descenso considerable del terreno, el cual siguieron más tarde las rocas eruptivas. Reconocemos este declive, por ejemplo, en la situación de la base del basalto; mientras entre el Milagro y el camino de la Hacienda de Vaquerías á Atotonilco el Grande esta base está á las alturas siguientes: 1,960 metros, 1,930 metros, 1,850 metros, 1,710 metros, la encontramos al Norte de la parte media, cerca de la mina de la Reunión, á una altura de 2,010 metros, de modo que entre este punto y la Loma Ancha existe una diferencia de nivel de cerca de 160 metros. Cerca de la Loma Ancha se ve también en el terreno claramente el declive de la corriente de basalto; quedará, pues, muy poca duda de que tenemos aquí el curso de un valle terciario.

Como ya lo hemos mencionado, podemos observar claramente en varios lugares restos de formación de terrazas, á saber: una terraza principal casi en el fondo de la barranca (cerca del Rancho de San Pablo) y otra más alta, más ó menos á la altura de 1,900 metros. Cosa semejante se encuentra en el punto donde está la mina del Milagro. Es de suponer que éstas no son las únicas formaciones de terrazas, pero en lo general los afloramientos no son bastante favorables para el reconocimiento de todas las terrazas, porque los dos lados del valle están cubiertos por el acarreo cimentado moderno. La existencia de dos de estas terrazas es una indicación importante. En ninguna parte de la barranca se puede probar la existencia de una antigua barrera que pudiera haber represado el agua; y puesto que se formaban depósitos, debe haber disminuído el caudal de manera que la barranca alcanzó su nivel de base. ¿Cómo era posible entonces que la corriente comenzara de nuevo á cortar los aluviones y la roca y llegara á partes más profundas que antes? Tenemos que suponer por fuerza que la parte superior de la barranca sufrió pequeños levantamientos temporales en el Cuaternario ó en el Plioceno más moderno, de modo que se hizo de nuevo un descenso en el talweg; cuando el río llegó hasta una altura de cerca de 1,800 metros (cerca de San Pablo) se formó de nuevo un nivel de base y siguió otra vez un levantamiento y el río cortó otra vez la roca. En la actualidad la barranca ya llegó en su tercio inferior al nivel de base, y la parte inferior, ó sea la laguna de Meztitlán, llegó probablemente desde el Terciario, mientras que en la parte superior de la barranca la incisión profunda

se hizo mucho más tarde. Del rancho de San Pablo para abajo parece comenzar el rellenamiento, mientras que la parte alta de la barranca todavía se está profundizando.

Hemos dicho que la formación de la barranca está en relación con la de los depósitos de lignita y por esto ya no es necesario hablar más de este asunto.

NATURALEZA DE LOS CRIADEROS.

Después de haber estudiado la geología de la región, é indicadas ya las formaciones que la constituyen, desde la sedimentaria cretácica y la eruptiva terciaria hasta las cuaternarias y recientes, que se hallan desde el Rancho de la Mora hasta el plan de Las Flores, pasamos ahora á estudiar en detalle los criaderos ferruginosos, los cuales, aunque con lapsos grandes de interrupción, pueden observarse desde la mina El Milagro hasta la llamada Nuestra Señora de la Luz, minas situadas en la barranca grande ó cañón de Tulancingo. Muy poco explorados se encuentran en verdad esos criaderos, pues no obstante la buena calidad de los minerales y las mejores condiciones económicas de la localidad, los trabajos durante cuarenta años han sido desarrollados en muy pequeña escala y sólo en la parte superficial de los mencionados criaderos, zona que dejó á descubierto la erosión, la cual al abrir las barrancas de Tulancingo y sus afluentes ha proporcionado profundos cortes naturales que facilitan al geólogo sus estudios y evitan trabajo al industrial, permitiéndole á éste proceder desde luego al disfrute de esos yacimientos.

Como hemos dicho, los criaderos ferruginosos se encuentran entre dos escurrimientos, uno de roca labradorita y otro basáltico; el primero y más antiguo forma el bajo ó asiento de los criaderos, y el segundo posterior á la formación de aquellos yacimientos constituye su alto. La distancia que separa á esos dos escurrimientos y que forma la anchura ó potencia del criadero, es muy variable: desde 10 centímetros, como se ve en las minas El Milagro, Hidalgo y Morelos, hasta 80 centímetros en las minas Transvaal y Nuestra Señora de la Luz. Esta variabilidad de potencia origina notables y frecuentes interrupciones en los criaderos y les da la forma de grandes lentes aplastadas, unidas entre sí por láminas muy delgadas, á las veces imperceptibles. Estas lentes están colocadas sobre un plano á 1,960 metros sobre el nivel del mar, ligeramente inclinado del Oriente hacia el Poniente, y siguen las anfractuosidades de la capa labradorítica inferior. En esta capa se observa un salto de 70 metros en el fundo llamado Nuestra Señora de la Luz y salta también el criadero, el cual baja de la zona alta y acantilada de la barranca principal para la de suave pendiente y cercana á la cima del estribo llamado Loma Ancha, que, casi normal á la dirección de la barranca, se encuentra mucho menos elevado que las planicies de gran extensión que coronan al profundo cañón de Tulancingo.

La extensión horizontal ocupada por estas lentes mineralizadas es sin duda bastante considerable, pues aunque los trabajos de exploración sean muy pocos, como hemos dicho, los profundos cuanto varios cortes naturales que en diversas direcciones surcan el terreno, permiten ver en una zona de 30 kilómetros de largo por más de 2 de ancho multitud de secciones de esas lentes, algunas bastante largas, lo que prueba que existe en esa región una zona mineralizada extensa y que algunas de esas lentes serán grandes aunque de poca potencia.

El relleno de la zona mineralizada, que en forma de lentes se encuentra entre los escurrimientos labradorítico y basáltico, lo pudimos estudiar tanto en los lugares en que la erosión ha dejado á descubierto los criaderos, como en las obras subterráneas emprendidas para el disfrute. Estas obras son socavones cuyas bocas se encuentran á las márgenes de las barrancas, y que siguiendo caminos tortuosos en los criaderos alcanzan ahora un desarrollo de 50 á 100 metros. Entre esos socavones mencionaremos: el del Milagro, 150 metros abajo de la planicie de coronamiento de la barranca de Tulancingo; el Sabinal, en el fundo Transvaal, á 120 metros abajo de la misma planicie, y el llamado Loma Ancha, en el fundo de Nuestra Señora de la Luz, á 135 metros abajo de la cima del mismo nombre. En todas estas labores (que en la localidad son conocidas con el nombre de ''ranchos''), así como en varios cortes naturales, pudimos observar el mismo relleno, constituído por los siguientes elementos: el bajo del criadero lo forma, como hemos dicho, la labradorita, á veces esponjosa é impregnada de óxido de fierro hidratado, mineral que rellena las ampollas de la roca y que se introduce en su masa porosa cimentándola y rodeando hasta las microlitas de la misma roca; sobre esta capa se encuentra otra muy delgada de brecha rhyolítica, á veces pomosa, é impregnada también por óxido de fierro y silisa hidratada; encima se encuentra la capa de mineral de fierro, formada en la parte baja por limonita y en la parte alta por hematita roja, cimentadas por arcilla y silisa hidratada; sobre esta capa, que es la que representa el valor industrial del criadero, se encuentra otra muy delgada y formada por semiópalo de diversos colores, siempre ferruginoso y que está en contacto con la roca basáltica del alto, la cual no está impregnada por el óxido de fierro como la labradorita que se encuentra en el bajo del criadero. Las únicas variantes que se observan en el relleno ya mencionado, son: que á las veces el bajo del criadero es una brecha labradorítica completamente impregnada de limonita y ópalo; y otras, que el alto está formado por una capa de arcillas, resultado de la trituración por frotamiento del basalto del alto al resbalar sobre la capa silisosa, sobre los semiópalos, que se encuentran siempre en la zona superior de las lentes mineralizadas.

La potencia de cada una de las zonas que forman el relleno ya descrito es muy variable, y sólo puede decirse: que la parte útil, por su mejor mineralizazión, ocupa las tres cuartas partes de la potencia total del criadero y que su arranque es muy fácil, rápido y económico, por la poca cohesión del mineral cimentado por la arcilla ferruginosa.

Conocidas ya las relaciones de posición en que se encuentran estos criaderos con respecto á las formaciones geológicas de la región; indicada también la forma que afectan, la extensión aproximada que ocupan y la naturaleza de su relleno, tal como se observa en todos los lugares en que la naturaleza ó el hombre los ha puesto á descubierto, pasamos á estudiar ahora el origen y modo de formación de estos criaderos; trataremos de reconstruir su génesis y los clasificaremos en seguida.

El fierro, metal tan interesante para la industria, como uno de los principales y más abundante elemento constitutivo de la corteza terrestre, lo encontramos: nativo, en las doleritas de Ovifak, en Groenlandia; oxidulado, en las rocas granitoides y traquitoides, contenido en las piroxenas, anfíbolas ó micas y aun feldespatos que las forman; titanado y cromado, en las dioritas, diabasas, euphotidas ó gabros; y al estado de silicato, en las rocas ácidas y básicas, concentrándose ya en la misma roca en el momento de cristalización de ésta, ó separándose, por el contrario, de la roca eruptiva, ya en el momento de la emisión, ya posteriormente, bajo la influencia de circulaciones hidrotermales. Este metal tan abundante lo vemos: ya combinado con el oxígeno, formando la limonita, la hematita roja, el oligisto y la magnetita, como con el ácido carbónico, formando la siderosa; ya con el azufre, bajo forma de pyrita ó marcasita, como con el ácido fosfórico constituyendo la vivianita; ó, por último, combinado con la silisa, formando parte en la composición de casi todas las rocas eruptivas, concentrándose á las veces para originar los yacimientos de inclusión en cúmulos, como los que existen en las serpentinas en Taberg y Cogne, ó separándose de las rocas eruptivas para formar los criaderos filonianos, como también los sedimentarios.

Esa difusión del fierro y de sus compuestos entre los elementos constitutivos de casi todas las rocas eruptivas ha originado, mediante fenómenos secundarios antiguos ó recientes, la formación de los grandes depósitos ó yacimientos de formas varias, que encontramos con frecuencia y cuyo valor industrial aumenta con los progresos de la química, los que aplicados á la metalurgia permiten hoy explotar con ventaja criaderos antes depreciados por el fierro impuro que pudieran producir.

Por otra parte, si se tiene en cuenta la fácil solubilidad del fierro y de sus combinaciones en el agua simplemente cargada de ácido carbónico, se comprende desde luego cómo pudo pasar el fierro, de elemento constitutivo de una roca, á formar inclusiones, vetas, capas, y en general todos los criaderos en que lo encontramos hoy concentrado y que, al motivar los estudios del geólogo, atraen también las miradas del minero, quien encuentra en ellos nuevas fuentes de riqueza y de utilidad general.

El silicato de fierro que se encuentra en casi todas las rocas constituye la mayor parte de las clasificadas como básicas, en las que existe también el fierro oxidulado, cromado á las veces y también titanado; pero todas estas combinaciones son solubles al estado de bicarbonato en las aguas cargadas

de ácido carbónico, ya meteóricas, ó bien las termales emitidas por manantiales.

De estas disoluciones, vehículo que lleva el compuesto metálico para concentrarlo en puntos lejanos á veces, se precipita el fierro ya como carbonato formando los criaderos de siderosa, ó bien al estado de óxido hidratado; y ya se acumula en las fracturas por donde circularon esas aguas termales ferruginosas, formando vetas, ya se concentra en depresiones cerradas para formar capas ó pantanos, ó bien se deposita en la superficie del terreno que sirve de lecho de escurrimiento á esas aguas, constituyendo los criaderos de desparramiento.

Explicado el origen primero del fierro que existe en los criaderos filonianos ó sedimentarios, metal que antes formara parte constitutiva de las rocas eruptivas, las cuales son el producto más ó menos directo de la escorificación del núcleo metalífero fundido, situado en el centro de la tierra, y conociendo también la solubilidad de los compuestos ferruginosos en las aguas carbónicas, se comprende fácilmente: que en todas las épocas geológicas se hayan formado criaderos de fierro, que los encontremos desde los tiempos primitivos hasta nuestros días, y que los veamos formarse en los pantanos y en los lechos de escurrimiento de aguas ferruginosas.

En efecto, si lanzamos una mirada retrospectiva y con atención recorremos los criaderos ferruginosos, encontraremos con Fuchs y De Launey: en los cipolines del terreno primitivo, los mantos y cúmulos de magnetita y oligisto de Mokta–El–Hadid; en las calizas del terreno primitivo, los cúmulos de magnetita y oligisto de San–Thiago en Portugal. En el período cambriano, en el que existen pocos yacimientos de fierro, encontramos sin embargo el cúmulo de oligisto de Asturias y los mantos del mismo mineral en la isla de Elba. En el período siluriano, en el que empezaron á formarse las divisiones en cuencas, permitiendo éstas el depósito de los minerales de fierro tomados á las rocas de los contornos, encontramos un gran número de capas ó mantos ferruginosos que han sido metamorfoseados más tarde y entre los que citaremos: los de oligisto y magnetita de Segré y Rougé, en las cuartzitas silurianas; las de Dieletté (Mancha) en las leptynitas; las de Saint–Rémy sobre la arenisca armoricana; las de Krivoi Rog (Rusia), en pizarras y cuartzitas; las de Bohemia, en las pizarras que forman la capa llamada de Komorau; las capas de fierro oxidulado magnético de Saint–Léon (Cerdeña), en pizarras silurianas; los cúmulos de hematita roja en cuartzitas, de Villa Caños, en Andalucía; los cúmulos de hematita parda, en las calizas de Grand Vallée (Alleghany), y la extensa capa de hematita roja oolítica, que se encuentra en el Estado de Nueva York, en Pensilvania, y sobre el borde Poniente del lago Michigan. En el período devoniano encontramos cúmulos de siderosa intercalados en calizas y pizarras en Erzberg de Styrie y de Carinthie, y cúmulos de hematita roja en Elbingerode (Harz). En el período carbonífero se hallan los mantos y cúmulos que con justicia han llamado más la atención del minero, puesto que el fierro

está entonces cercano á la hulla, elemento empleado en su elaboración, y entre estos privilegiados yacimientos encontramos: los cúmulos de hematita roja en las calizas carboníferas de Cumberland (Inglaterra), los mantos de siderosa en las pizarras hulleras de Ruhr de Silesia y de Francia, y en la época permiana, en que las acciones químicas gozaron gran papel y en la que el fierro colora de rojo todo un piso de arenisca, están las capas arcillo–ferruginosas de la cuenca de la Sarre (Francia) y las de Cartagena (España). En el período triásico se encuentran las hematitas pardas de Silesia en cúmulos sobre la dolomía metalífera y los mantos de limonita en Ardeche (Francia). En el liásico, en la época hetangiana, están los mantos de Borgoña y las lentes de Mazenay y Changes; en el sinemuriano, el manto de hematita parda oolítica de Harzbourg (Alemania); en el toarciano, las capas de mineral oolítico de Meurthe y Moselle (Francia). En el período oolítico, en el piso bajosiano, tenemos los mantos y lentes de Ougney, Isenay y Privas, y en el oxfordiano las lentes de hematita roja de Pierre–Morte, de Neuvysy y de Chatillon (Francia). En el período infracretácico encontramos: en la época neocomiana, la caliza ferruginosa de Métabief; en la urgoniana, la capa roja de Wassy y los minerales milioolíticos de Champagne; en la aptiana, los cúmulos de hematita parda de Bois–de–Loges y de Blangy. En el período cretácico, entre las arcillas y calizas huronianas, se encuentran los cúmulos de hematita de Bilbao (Vizcaya). En el período eoceno se hallan los desparramamientos ferruginosos de hematitas pardas ó rojas manganesíferas de Túnez. Y, por último, como yacimientos sedimentarios de fierro tenemos los minerales de lagos y de pantanos que se encuentran en todas las épocas geológicas, desde el terreno llamado primitivo, en el que son abundantes, y que se depositan hasta la fecha en un gran número de lugares, como en Silesia, Polonia, el Banat, la Finlandia y los lagos de Escandinavia. Lo mismo que los yacimientos sedimentarios, encontramos los filonianos en todos los períodos geológicos: en el siluriano, los de magnetita de Visokaya–Gora, los de magnetita y chalcopyrita de Traverselle; en el triásico, las vetas de siderosa de Allevard; en el liásico, los filones de hematita de Rancié; en el eoceno, las vetas también de hematita de Canigou, y en el meoceno, las de Banat, Hungría y Servia.

Por lo anterior se comprende que los criaderos de fierro son muy abundantes en la naturaleza y que su formación ha tenido lugar en todos los períodos geológicos, desde las épocas primitivas hasta nuestros días; pero de todos esos criaderos, aunque de formas varias, los principales y más importantes han resultado: por el depósito del óxido de fierro que las aguas tuvieran en disolución, y que han abandonado, ya por la pérdida del ácido carbónico, ó bien por precipitaciones y reacciones químicas favorecidas á veces por diversos organismos.

El óxido de fierro lo encontramos formando mantos, capas sedimentarias, incrustando las paredes de fracturas para originar las vetas, ó bien de-

positado en las anfractuosidades ó cavidades superficiales del terreno por donde antes circulaban aguas ferruginosas.

Por todas partes y en todos tiempos encontramos el óxido de fierro, y sin embargo, su naturaleza varía y está ligada hasta cierto punto con la edad geológica del terreno en que se encuentra; en efecto, en los períodos primitivos aparece como oligisto ó magnetita, después como hematita roja, luego como hematita parda, y al fin, en nuestros días, se forman los lodos ocrosos, grises ó negros. La naturaleza del mineral varía en relación con la antigüedad del criadero; así, esos lodos ocrosos más recientes, al endurecerse se concrecionan y forman la hematita parda como se encuentra en los pantanos de Suecia y de Noruega; por la acción del tiempo y por fenómenos metamórficos este mineral se deshidrata y forma la hematita roja que encontramos en el cretácico y jurásico, y más tarde, cristalizándose y reduciéndose en parte, produce la magnetita ó el oligisto, minerales que se hallan en los terrenos antiguos metamórficos.

En el caso que nos ocupa y al estudiar los criaderos ferruginosos de Vaquerías para determinar su edad geológica y poderlos comparar desde ese punto de vista con los ya enumerados, encontramos datos precisos que nos permiten llegar al fin deseado. En efecto, no es tan sólo la naturaleza del mineral, la limonita y poca hematita que constituyen los criaderos el único dato que se posee para considerarlos como modernos, sino los fósiles encontrados en el mismo yacimiento, fósiles que hemos clasificado como del Plioceno superior; y puesto que esos fósiles están impregnados por el óxido de fierro, deben considerarse como preexistentes á la formación de los criaderos, los cuales, por lo tanto, tendrán que considerarse como de la cima del Plioceno ó de la base del Pleistoceno, posteriores al escurrimiento de las labradoritas que constituyen su bajo y de formación anterior al escurrimiento basáltico que los cubre y que forma el alto de los referidos yacimientos. No los podemos comparar, por lo tanto, con los criaderos enumerados antes, que son de edad geológica más antigua, ni con otros existentes en el país, puesto que son estos los primeros yacimientos ferruginosos pleistocenos que hemos estudiado y que nos proporcionan un dato más, precioso sin duda, para aceptar en el país las emanaciones termominerales relacionadas con la formación de criaderos metalíferos al fin de la éra terciaria, emanaciones reconocidas ya por Fuchs en los criaderos argentíferos del Carmen en Sonora y de San Francisco en Morelos, y que encontramos ahora formando los yacimientos ferruginosos sobre las labradoritas de la región de Vaquerías.

Conocida la edad geológica de los yacimientos en estudio, pasamos á explicar su modo de formación.

El origen del fierro que forma los criaderos lo encontramos por lo general, como hemos dicho, en las rocas eruptivas y algunas sedimentarias, en cuya composición entra como elemento constitutivo al estado de silicato principalmente, y de las que es tomado en disolución por aguas cargadas de ácido carbónico ó que se aisla al estado de óxido por fenómenos meta-

mórficos. Las rocas que originan la formación de estos yacimientos pueden ser: ó las superficiales que se encuentran en su contorno, las cuales hayan cedido su fierro á las aguas meteóricas ó de manantiales que las deslavan, ó que sujetas á fenómenos de metamorfismo se transforman ellas mismas en criaderos de fierro, constituídos por arcillas excesivamente ferruginosas; ó pueden ser también las rocas contenidas en las profundidades de la tierra las que hayan cedido su fierro á las aguas carbónicas termales que las circulan y las cuales sirven de vehículo para llevar á la superficie en disolución la silisa, el fierro y otros elementos que forman parte de la composición de las rocas subterráneas, elementos que se depositan en la superficie de la tierra al derramarse las aguas de los manantiales termominerales. Como ejemplos del primer caso, ó sea de criaderos ferruginosos originados por la disolución de rocas superficiales en las aguas meteóricas, encontramos: los del Erzberg Styriano, los de Cumberland (Inglaterra) y los pantanos de Suecia y Noruega. Entre los criaderos formados por metamorfismo de las mismas rocas, transformándose éstas poco á poco en verdaderos yacimientos ferruginosos, se encuentran: los de Mokta-El-Hadid y los del N.E. de Ireland, asociados con basaltos y como resultado del metamorfismo de éstos, según opinan Ralph Tate y John Sinclair Holden. [1] Y por último, entre los yacimientos cuyo fierro ha sido tomado á las rocas profundas por las corrientes hidrotermales y cuya formación es debida al desparramamiento de estas aguas, podemos citar: los de la isla de Elba, los de Tafna, de Tabarka, el de Bilbao en Vizcaya, el de Berry, los de Beni-Saf (La Tafna), los de Breisgan, Suiza y otros.

Son debidas también á las corrientes hidrotermales las varias vetas que hemos mencionado antes y que resultan de la incrustación y relleno de las fracturas profundas por los elementos contenidos en esas aguas termominerales, elementos que han sido abandonados parcialmente antes del derrame de dichas aguas en la superficie de la tierra.

Al referirnos á los yacimientos de Vaquerías tenemos que aceptar como origen del fierro el contenido en las rocas profundas, las que han sido y son hasta la fecha lixiviadas por las corrientes hidrotermales, que cargadas de ácido carbónico y á elevada temperatura y presión han disuelto varios de los elementos constitutivos de las rocas, ya por disoluciones químicas ó físicas solamente. De esta manera los silicatos de fierro atacados por las aguas termales pasaron al estado de bicarbonatos solubles, quedando la silisa en disolución física.

Aceptamos el origen interno del fierro que hoy se encuentra en los criaderos de Vaquerías, por las siguientes razones. Todos esos criaderos están colocados sobre un escurrimiento de labradoritas y no se encuentra ningún criadero semejante colocado abajo de ese escurrimiento, razón por la cual debemos creer que los fenómenos que originaron la formación de aquellos

1. Quarterly Journal, 1870, pág. 151.

criaderos comenzaron después de la emisión de la roca labradorítica, y ni esta roca ni las demás que circundan la región están alteradas como deberían encontrarse si las aguas meteóricas las hubieran atacado para disolver los silicatos de fierro que entran en su composición, sino que, por el contrario, observamos las rocas del bajo impregnadas por el óxido de fierro y la silisa, minerales que introducidos en su pasta porosa circundan á los feldespatos y á la anfíbola, elementos que permanecen inalterados; y lo mismo se observa con las rocas más antiguas, las rhyolitas, que no están alteradas y sí impregnadas con el óxido de fierro en los lugares en que se encuentran cercanas á los criaderos. Además, en las labradoritas del bajo de los criaderos se encuentra junto con el óxido de fierro una gran cantidad de tridimita, lo que revela la elevada temperatura á que se encontraban las aguas que tenían la silisa en disolución, y que al depositarla en esas condiciones lo hicieron en la forma de tridimita. Un hecho más notable todavía es el depósito que hasta ahora está dejando uno de los manantiales termales que brotan en la región, manantial conocido con el nombre de Arroyo Seco y cuyas aguas, á la temperatura de 30° C., abandonan al salir al exterior un precipitado compuesto de peróxido de fierro hidratado y silisa gelatinosa, cuyo precipitado tiene grandes analogías, por los elementos que lo constituyen, con el mineral depositado sobre las labradoritas y que forma los criaderos en estudio. En efecto, el análisis de una limonita de la mina El Sabinal, en la hacienda de Vaquerías, dió los siguientes resultados:

H^2O	16.00%
$Si\ O^2$	8.37
Fe^2O^3	75.72
$Ph\ O^5$	vestigios
$Ca\ O$	vestigios
	100.09

Por las razones anteriores, y teniendo en cuenta además la homogeneidad en el relleno del criadero, el no encontrarse fragmentos de cuarzo ó feldespato en el relleno, ni observando éste al microscopio, y por ser la composición del relleno semejante al del precipitado que aún depositan las aguas termominerales que brotan en la región, creemos debe buscarse el origen de ese fierro en las profundidades de la tierra y explicar la formación de esos criaderos del siguiente modo.

Después de la emisión de la roca labradorítica, que corre del S.W. de Tulancingo para el plan de las Flores, continuaron las manifestaciones volcánicas con la emisión de fumarolas y de manantiales calientes de origen volcánico, los que, á decir de Elie de Baumont, pueden considerarse como volcanes privados de la facultad de arrojar cualquier otro producto que no sea gaseoso, emanaciones que llegan á la superficie condensadas en aguas termominerales. Estas emanaciones, relacionadas con la erupción de las la-

bradoritas de Vaquerías, se condensaron en aguas termominerales, las cuales por el ácido carbónico que contenían y ayudadas por elevada temperatura y presión, atacaron en su ascenso á las rocas por las cuales circularon, disolviendo los elementos ferruginosos y silisosos, y brotaron por fin al exterior por varios manantiales. Estas aguas mineralizantes fueron abandonando en su camino descendente y ya superficial los elementos que tuvieran en disolución, formando depósitos sobre la labradorita ó impregnando la masa porosa de esta roca que formaba el lecho de escurrimiento de las mencionadas corrientes termominerales. Estas corrientes, aunque de mucha menor importancia por su volumen y de temperatura más baja, las observamos todavía en la región formando depósitos ferruginosos y como débil manifestación actual de los fenómenos volcánicos acaecidos en aquella región en el Plioceno superior.

Indicado ya el origen interno de la silisa y el fierro, y aceptando á las aguas termominerales como vehículo de transporte de esos elementos, desde las profundidades de la tierra hasta donde hoy los observamos formando los criaderos de Vaquerías, nos falta estudiar las causas que produjeron el depósito.

Desparramadas las aguas termominerales por diversos puntos de emisión, circularon sobre la superficie rugosa de las labradoritas, siguiendo las direcciones de mayor pendiente, llenaron las cavidades que encontraron en su trayecto y humedecieron las rocas sobre las cuales escurrieron y las que se encontraban en los contornos de la corriente, y por esto los depósitos metalíferos quedaron colocados á diversas alturas, tanto porque las aguas siguieron la pendiente del lecho de escurrimiento, como por ser varios los caminos recorridos por esas aguas mineralizantes sobre las labradoritas de la localidad.

¿En qué condiciones se verificó, ó cuáles fueron las causas que motivaron el depósito del fierro y la silisa contenidos en esas aguas? Es la cuestión que nos falta estudiar para completar la génesis de los criaderos de Vaquerías.

De diversos modos, en verdad, pueden depositar el fierro las aguas que lo contengan, y desde luego debemos distinguir las soluciones ferruginosas estancadas y las que son corrientes: las primeras formarán capas sedimentarias, cúmulos ó pantanos, y las segundas depositarán concreciones sobre las rocas en que circulan y formarán vetas ó criaderos de desparramamiento. Por otra parte, el fierro y la silisa contenidos en disolución en una agua cargada de ácido carbónico, pueden precipitarse: por una simple exposición al aire, pues al evaporarse el ácido carbónico á favor del cual se encontraban en disolución esos elementos, se precipitarán la silisa y parte del fierro, éste al estado de peróxido hidratado, como sucede en las capas ó cúmulos realmente sedimentarios; ó bien, la precipitación puede ser motivada por reacciones químicas. Estas reacciones pueden ser debidas, ó á la composición de las rocas que se encuentran en su contacto, ó á los organismos

vegetales que se desarrollan en esas aguas. El primer caso lo observamos en los criaderos de sustitución que arman en las calizas, rocas sedimentarias que precipitan al fierro de sus soluciones al estado de carbonato ó de peróxido hidratado, según que la reacción se verifique en una atmósfera reductora ó al contacto del aire; y el segundo caso, descubierto por Ehrenberg, es el que se verifica en los pantanos, en los cuales viven en abundancia ciertas diatomeas de la especie llamada Gallionella ferrugínea, las que tienen la propiedad de fijar en sus filamentos á la silisa y una gran cantidad del hidróxido de fierro contenido en las aguas estancadas. Esta reacción se verifica de la siguiente manera, según el Dr. Newberry: [1] Siempre que las soluciones ferruginosas están expuestas al aire absorben oxígeno y el fierro se convierte en sesquióxido hidratado, que en forma de películas irisadas flotan en la superficie de los pantanos; estas películas se rompen, caen al fondo, y al ponerse en contacto con las materias orgánicas en fermentación, pierden una parte de su oxígeno que se une con el carbón para formar ácido carbónico, y el peróxido de fierro pasa al estado de protosal soluble; el ácido carbónico se desprende en burbujas y la protosal soluble absorbe de nuevo el oxígeno del aire. Esta reacción se repite hasta que se destruye la materia orgánica, y hasta entonces se forma el precipitado de limonita ó mineral de pantanos, por lo cual se comprende, como lo dice Archibal Geikie, que en la formación de los minerales de pantanos (bog–iron–ore) la acción de los organismos desempeña un papel capital.

A las causas anteriores que pueden determinar el depósito de los elementos en disolución en las aguas, tenemos que agregar, por último, la evaporación y la disminución de temperatura y de presión, pues es bien sabido que el agua, ó más bien dicho su vapor á elevada temperatura y presión, es un disolvente muy enérgico, y que tanto al condensarse ese vapor como al enfriarse el agua y á menor presión, tienen que depositarse parte de los elementos que antes estuvieran en disolución, depósito que formará capas concrecionadas en los terrenos atravesados por esas aguas.

En el caso que nos ocupa debemos considerar á las aguas termales ferruginosas como corrientes sobre la superficie rugosa de su lecho labradorítico y no como aguas estancadas, puesto que no existe en la región ningún barraje que al formar una cuenca cerrada permitiera la acumulación de las aguas en el vaso ó depósito así formado. Sin duda llenaron esas aguas todas las oquedades existentes en su lecho accidentado, pero en todas ellas las aguas tuvieron que ser constantemente removidas durante el tiempo que durara la circulación hidrotermal.

La precipitación del fierro contenido en esas corrientes hidrotermales no fué ocasionada, sin duda, por reacciones químicas provocadas por la composición de las rocas de su lecho ni por la acción de organismos vegetales. En efecto, hemos dicho antes que el estudio petrográfico de las labradori-

1. G. Moreau. Etude Industrielle des Gîtes Métallifères. Paris, 1894. Pág. 148.

tas que forman el bajo de los criaderos, así como el de todas las rocas de la región, revela la inalterabilidad en que se encuentran todas esas rocas, las cuales cuando están cercanas á los criaderos se encuentran impregnadas por óxido de fierro y silisa hidratada, minerales que circundan á los elementos de la roca los que no han sufrido alteración alguna. No fueron, por lo tanto, los elementos constitutivos de las rocas, surcadas por las aguas mineralizantes, los que determinaron la precipitación del fierro contenido en estas soluciones, precipitación que tampoco es debida á la acción de organismos vegetales, por las razones siguientes. En primer lugar, dice Daubrée [1] que el mineral del fondo de los lagos y pantanos se encuentra por lo común en granos aislados de forma esferoidal, cuyo tamaño varía desde el de una cabeza de alfiler hasta el de una nuez y aun más grande y cuya estructura concéntrica y hojosa tiene mucha semejanza con el mineral pisolítico tan abundante en las formaciones terciarias, y en nuestro caso ninguno de estos caracteres distintivos se observa en el mineral de los criaderos reconocidos. En segundo lugar, la presencia de la tridimita en el depósito de fierro que se encuentra en la roca labradorítica, revela, como hemos dicho, la elevada temperatura de las aguas mineralizantes y la imposibilidad, por lo mismo, del desarrollo en ellas de la vida vegetal, cuya ausencia ha quedado comprobada al examinar al microscopio en lámina delgada el mineral de fierro de aquella región, pues no se observa ningún indicio de intervención orgánica en la precipitación del fierro. Y por último, como dice Daubrée, [2] la composición química del mineral de pantanos se diferencía esencialmente de la composición de los depósitos formados por el derrame de manantiales termominerales, en la cantidad de ácido fosfórico contenido, ácido que sólo se encuentra como huellas en el fierro depositado por manantiales y que existe en cantidad muy notable, de 0,005 á 0,1 por ciento y aun más, en el precipitado formado en los pantanos por la acción de los organismos vegetales, los que viven y mueren en esas aguas, cediendo su ácido fosfórico al peróxido de fierro, por el cual tiene, como es sabido, gran afinidad; y puesto que el mineral de Vaquerías sólo contiene huellas de ácido fosfórico, esta es una prueba más que, unida á las anteriores, funda nuestra opinión al decir que los organismos vegetales no tuvieron intervención alguna en la precipitación del fierro de la localidad en estudio, razón que unida á la falta de cuencas cerradas en la región que permitieran el estancamiento de las aguas, permite asegurar: que los criaderos de Vaquerías no son de origen pantanoso.

La precipitación del fierro en las aguas termales mineralizantes de la región de Vaquerías fué debida, por lo dicho anteriormente, á la disminución de temperatura de esas aguas, las que al contacto del aire perdieron también una parte del ácido carbónico que contuvieron y á favor del cual estaban disueltos el fierro y la silisa, habiéndose depositado el fierro al esta-

1. Daubrée. Les Eaux Subterraines à l'époque actuelle. 1887. T. II, pág. 128.
2. Daubrée. Bull. de la Soc. Géol. de France. Année 1845–46. Pág. 147.

do de peróxido hidratado por la acción oxidante del aire. La disminución de presión y temperatura por una parte, y la oxidación de las soluciones al contacto del aire por otra, fueron sin duda las causas que originaron el depósito del fierro en los criaderos de Vaquerías, los que se asemejan, desde este punto de vista considerados, á los que existen en la región volcánica de Eiffel, [1] en cuya región los manantiales gaseosos del valle de Brohl, que llevan el fierro al estado de bicarbonato, según Bischof, lo depositan en la superficie del suelo bajo forma de peróxido; y son semejantes también á los que se encuentran en las faldas occidentales del Ixtlaccihuatl.

Esas aguas mineralizantes de Vaquerías, al circular sobre las labradoritas y brechas que formaron su lecho, fueron depositando su precipitado siliso ferruginoso, tanto en las oquedades de la superficie como en los lugares de poca pendiente, en los que el escurrimiento fuera muy lento, y penetraron también en la masa porosa de las rocas impregnándolas ó cimentándolas con el mismo precipitado. De esta manera se formaron esas lentes aplastadas que constituyen los criaderos de la mayor parte de los fundos mencionados, y se formaron también los cúmulos de brechas labradoríticas ó rhyolíticas impregnadas con el precipitado siliso ferruginoso, como el que se observa en el fundo llamado Terreros.

Los criaderos de la región en estudio se formaron durante el lapso de tiempo en que las manifestaciones internas del globo se redujeron á la emisión de fumarolas y de manantiales termominerales; pero más tarde, al reanudarse las emisiones de roca eruptiva, una corriente basáltica escurrió por el trayecto que antes siguieran las aguas mineralizantes y cubrió á la mayor parte de los criaderos ferruginosos ya formados, metamorfoseándolos en su parte superior, la que fué parcialmente deshidratada, transformándose la limonita en hematita roja, y apareciendo entonces los semiópalos que se encuentran en la zona superior de esos criaderos.

Solidificados los basaltos que forman el alto de los yacimientos, resbalaron sobre éstos en algunas partes, produciendo por trituración y frotamiento las capas enrelizadas arcillosas que se observan ahora en algunos lugares y hacia el alto de las lentes metalíferas.

Explicada ya la génesis de estos criaderos, pasamos á hacer su ligero estudio económico.

Considerados los criaderos de Vaquerías desde el punto de vista industrial, debemos decir: que son dignos de atención, y que estableciendo el disfrute y tratamiento metalúrgico de una manera adecuada y económica, lo cual es posible, se conseguirá tal vez una extracción normal bastante regular y pueden garantizarse buenas utilidades al capital que se invierta en la explotación de aquellos criaderos.

La forma y posición de los yacimientos de Vaquerías en lentes aplastadas y colocadas en un plano casi horizontal, la gran extensión ocupada por es-

1. Daubrée. Bull. de la Soc. Géol. de France. 1864. Pág. 150.

tas lentes, el estar cortadas por barrancas que las atraviesan en diversas direcciones y la poca cohesión del relleno metalífero, son circunstancias que permiten desarrollar los trabajos mineros en gran escala y con economía, pues se pueden explotar los yacimientos en varios lugares y por socavones abiertos en las barrancas; y además, como el avance de estas obras, lo mismo que las de disfrute, puede ser rápido y de poco costo por la blandura del relleno en la mayor parte de esos criaderos, es posible alcanzar una extracción regular y obtener por lo mismo buenos resultados del tratamiento de aquellos minerales, no obstante su baja ley, que es en promedio 30 por ciento de fierro. A lo anterior se agrega la naturaleza del mineral casi siempre homogénea y el estar constituído por peróxido de fierro, con arcilla, silisa libre, y muy poco fósforo, lo cual permite que sólo con la adición de una pequeña cantidad de cal pueda fundirse con toda facilidad, como se hace ahora en la ferrería de Apulco, y que el fierro producido sea bastante puro y de muy buenas propiedades físicas.

Por otra parte, hay que tener en cuenta las buenas condiciones locales, que permiten trabajar con mucha economía. En efecto, muy cercana á Vaquerías se encuentra una sierra bastante grande y cubierta de monte, lo cual permitirá obtener en la localidad el carbón á bajo precio, tanto más, cuanto que es muy fácil traer este combustible en un ferrocarril Decauville, cuya construcción sería de poco costo y podría moverse por electricidad, aprovechando para esto, así como para mover los ventiladores de la ferrería y algunas otras maquinarias que fueran necesarias, la caída que resulta al desviar las aguas de la barranca de Las Granadas, un poco arriba del salto de este nombre, llevándolas entubadas hasta la barranca Grande para dejarlas caer en un punto cercano al rancho de San Pablo, que se encuentra en el fondo de esa barranca y en donde debería construirse la oficina metalúrgica. La caída anterior proporcionaría sobre trescientos caballos, potencia muy suficiente para los usos indicados, y ubicando en San Pablo la ferrería, se encontraría ésta en el centro de la zona mineralizada y bastante abajo de todas las minas, de las cuales podría deslizarse el mineral por canales que lo condujeran á unos depósitos colocados en el fondo de la barranca, aunque siempre arriba de la boca de carga de los hornos, y el transporte del mineral de los depósitos para la ferrería podría hacerse también muy económico por medio de una vía Decauville.

Los jornales son bajos, el clima es bueno, existen todos los elementos de vida y de trabajo á poco costo, combustible bastante, y con buena dirección y administración económica no es dudoso obtener buenas utilidades del disfrute en gran escala de aquellos yacimientos, que si no son muy ricos, se encuentran sí en muy buenas condiciones para su disfrute económico.

Teniendo en cuenta todo lo dicho en esta parte de nuestro informe, podemos resumirla en las siguientes conclusiones:

Primera. Deben considerarse los criaderos de Vaquerías: por su edad, como Pleistocenos; por el origen del metal que los constituye, como de ori-

gen interno y debidos á los fenómenos de la dinámica terrestre interna, á fumarolas desprendidas después de la emisión de la roca labradorítica, relacionadas á esta roca y condensadas bajo la forma de manantiales termominerales de origen volcánico, aguas que lixiviaron á las rocas profundas; por su modo de formación, pertenecen á los depositados por soluciones desparramadas de manantiales y á causa del enfriamiento y oxidación de estas soluciones al contacto del aire; por su forma, son cúmulos con figura de lentes aplastadas; por la estructura de su relleno, deben considerarse como concrecionados y formados por depósitos sucesivos y á veces como impregnaciones de la roca labradorítica; por la naturaleza del relleno, como ferruginosos, formados principalmente por hematita parda; y por su posición, son horizontales, colocados sobre la superficie rugosa y accidentada de un escurrimiento labradorítico y cubiertos por los basaltos posteriores que forman el alto de los criaderos.

Segunda. Considerados los yacimientos de Vaquerías desde el punto de vista industrial, deben considerarse como útiles para el tratamiento metalúrgico del fierro que contienen, y no como explotables para la producción solamente de materias colorantes.



Barranca de las Granadas,
Vaquerias, E. de Hidalgo.

CARLOS GOSSELIN S.C. ANT. LIT. MOREAU. MEXICO.



Barranca de S. Pablo,
Vaquerias, E. de Hidalgo.

CARLOS GOSSELIN. S.C ANT. LIT. MOREAU. MEXICO.



Barranca de San Pablo, Hacienda de Vaquerías, Estado de Hidalgo.

PUBLICACIONES QUE HAN INGRESADO A LA BIBLIOTECA DEL INSTITUTO GEOLOGICO DURANTE LOS MESES DE JULIO A OCTUBRE DE 1902.

(Las publicaciones marcadas con * fueron compradas, las otras se recibieron en cange ó donación).

***Agassiz L.**—Etudes critiques sur les mollusques fossiles.—Monographie des Myes.—Neuchatel, 1842-1845. 1 vol. 4º pl.

***Barbey** (L'Ixomètre).—Sceaux. 1900. 1 br. 8º

Bodenbender Dr. G.—El Oro. Producción en los últimos 50 años. Reseña histórico-geológico-metalúrgica. Guía general para el reconocimiento y beneficio de los criaderos de dicho metal. Córdoba, 1902.—El Carbón Rhético de las Higueras en la Provincia de Mendoza. Buenos Aires, 1902.

Böse & Ordóñez.—Der Ixtaccihuatl (5,280 m). Eine Bergund Gletscherfahrt in den Tropen.—München (Zeitsch. Deutsch. u. Oesterr. Alpenvereins). 1901.

Buch L. de.—Pétrifications recueillies en Amérique par M. A. de Humboldt et par M. Ch. Degenhardt.—Berlin, 1839. Fol. Pl.

Cohen E.—Das Meteoreisen von N'Goureyma unweit Djenne, Provinz Macina, Sudan. Greifwald, 1902.—Das Meteoreisen von Rafrüti im Emmenthal, Canton Bern, Schweiz.—Ueber ein Meteoreisen von Mukerop, Bezirk Gibeon, Grossnamaland, von *A. Brezina* und *E. Cohen.* Stuttgart, 1902.

***Des Cloizeaux.**—Manuel de Minéralogie.—Paris, 1862-1893. 2 vol. & Atlas. 8º

Elera (Fr. Casto de).—Catálogo Sistemático de toda la Fauna de Filipinas conocida hasta el presente y á la vez el de la Colección Zoológica del Museo de PP. Domínicos del Colegio-Universidad de Santo Tomás de Manila.—Manila, 1895-1896. 3 t. 8º

***Emory H. W.**—Report of the United States and Mexican Boundary Survey.—Washington, 1858. 3 t. 4º fig., pl. & maps.

Etzold F.—Das Wiechertsche astatische Pendelseismometer der Erdbebenstation Leipzig und die von ihm gelieferten Seismogramme von Fernbeben.—Leipzig (Sitz. K. Sächs. Ges. d. Wiss). 1902.

***Frémont J. C.**—Report of the Exploring Expedition to Rocky Mountains in the year 1842 and to Oregon and North California in the years 1843-1844.—Washington. 1845. 8º pl.

***Hervás (Abate Lorenzo).**—Catálogo de las Lenguas de las Naciones conocidas y numeración, división y clases de éstas, según la diversidad de sus idiomas y dialectos.—Madrid, 1800-1805. 6 t. 8º

Kipp H.—Die Basalte des Reichsforst. Ein Beitrag zur Kenntniss der Basalte des Fichtelgebirges. 1895.

Koken E.—Die Deutsche Geologische Gesellschaft.

***Marcy R. B.**—Exploration of the Red River of Louisiana in the year 1852.—Washington, 1853. 2 t. 8º pl.

Mateos J.—Métodos astronómicos de sencilla aplicación para uso de los topógrafos y exploradores. —México, 1899. Texto y tablas.

***Mourlon M.**—Bibliographia Geologica. Série A, IV. Série B, V.—Bruxelles. 1902.

***Mühlenpfordt E.**—Versuch einer getreuen Schilderung del Republic Mejico besonders in Beziehung auf Geographie, Ethnographie und Statistik.—Hannover, 1844. 2 Bd. 8°

Newberry J. S.—Report of the Exploring Expedition from Santa Fe, New Mexico, to the junction of the Grand and Green Rivers of the Great Colorado of the West, in 1859, under the command of Capt. J. N. Macomb, with Geological Report.—Washington. 1876. 4º pl.

Newton R. B.—Say's Types of Maryland Mollusca. 1902.

Newton R. B. & Holland R.—On Some Fossils from the Islands of Formosa and Riu–Kiu (Loo Choo).—Tokio (Jour. of the Col. of Sc.) 1902.

Œbbeke K.—Beiträge zur Petrographie der Philippinen und der Palau–Inseln. 1881.—Ueber das Gestein von Tacoma–Berg. 1885.—Topas im Fichtelgebirge.—Beiträge zur Kenntniss einiger hessischer Basalte. 1888.—Sur quelques minéraux du Rocher du Capucin et du Riveau–Grand (Mont–Dore).—Ueber Glaukophan und seine Verbreitung in Gesteinen. 1887. —Arsenkies auf dem kornigen Kalk von Wunsiedel. 1890.

Œbbeke & Blanckenhorn.—Geologische Rekognoszierungsreise in Siebenbürgen. 1900.

Oels M.—Beiträge zur Kenntniss einiger Gesteine und Asbeste Corsikas. 1890.

***Owen D. D.**—Report of a Geological Exploration of part of Iowa, Wisconsin, and Illinois.—Washington. 1844. 8º pl.

* —— Second Report of a Geological Reconnaissance of the Middle and Southern Counties of Arkansas. Made during the years 1859 and 1860.—Philadelphia. 1860. 8º pl.

Peñafiel Dr. A.—Nomenclatura Geográfica de México. Etimologías de los nombres de lugar correspondientes á los principales idiomas que se hablan en la República.—México, 1897. Fol. Texto y Atlas.

—— Nombres Geográficos de México. Catálogo alfabético de los nombres de lugar pertenecientes al idioma "Nahuatl."—México. 1885. 4º Texto y Atlas.

Sammet P.—Die in der Sammlung des Mineralogisch–geologischen Instituts der Universität Erlangen. 1901. 8º

Sellheim F.—Beiträg zur Foraminiferenkenntnis der fränkischen Juraformation. 1893.

Steinmann G.—Zur Tektonik des nordschweizerischen Kettenjura. Die Neuaufschliessung des Alpersbacher Stollens. Die Bildungen der letzten Eiszeit im Bereiche des alten Wutachgebiets.—Stuttgart. 1901.

Stübel Alph.—Die Vulkanberge von Ecuador. Geologisch–Topographisch Aufgenomen und Beschrieben.—Berlin. 1897. 4° Fig. & Taf. (Donación del *Dr. P. Grosser*).

Suess E.—La Face de la Terre. Traduit par *Em. de Margerie.* Tome III, 1re. partie.—Paris, 1902. 8º figs.

Ward H. A.—Bacubirito or the great Meteorite of Sinaloa.—Rochester (Proc. Ac. Sc.). 1902. 8º pl.

Wolf Dr. T.—Viajes científicos por la República del Ecuador verificados y publicados por orden del Supremo Gobierno de la misma República. I. Relación de un viaje geognóstico por la Provincia de Loja.—II. Relación de un viaje geognóstico por la Provincia de Aguay.—III Memoria sobre la Geografía y Geología de la Provincia de Esmeraldas.—Guayaquil, 1879. 8° láms.

Acireale.—R. Accademia di Scienze, Lettere e Arti. Rendicoti, 1898–1900.

Adelaide.—Record of the Mines of South Australia. Tarcola and the North–Western District by H Y. L. Brown. 1902.

Aguascalientes.—Memorias del Gobernador del Estado. 1891 y 1899.
Autun.—Société d'Histoire Naturelle. Bulletin, XIV.
Auxerre.—Société des Sciences Historiques et Naturelles de l'Ionne. Bulletin, 55 (1901).
Baltimore.—American Chemical Journal. Vol. 27, n. 6. Vol. 28, n. 1–4.
—— Johns Hopkins University Circulars. Nos. 150–159.
—— Maryland Geological Survey. Report of the Highways. 1899.—2d Report on the Highways. IV, 2.—Public general and public local Laws relating to highways.
Barcelona.—Asociación de Ingenieros Industriales. Revista Tecnológico Industrial. Enero á Junio 1902.
—— Institució Catalana d'Historia Natural. Butletí. Jul. 1902.
—— R. Academia de Ciencias y Artes. Boletín. 3ª época. IV, 16–25.
Basel.—Naturforschenden Gesellschaft. Verhandlungen. XIII, 3.—Zur erinnerung an Tycho-Brahe, 1556–1601.
Baton Rouge.—Geological Survey of Louisiana. Reports, 1899 and 1902.—The Florida Parishes of East Louisiana and the Bluff, Prairie and Hill Lands of S.W. Louisiana by W. W. Clendemin.—The Bluff and Mississippi Alluvial Lands of Louisiana by. W. W. Clendemin.
Bergen.—Bergen Museum. Aarbog. 1901, 1902, I.—Aarsberetning, 1901.—An account of the Crustacea of Norway by G. O. Sars. Vol. IV, parts III–VI.
Berkeley.—University of California. Department of Geology. Bulletin, III, 5.
Berlin.—Deutsche Geologische Gesellschaft. Zeitschrift, LIII, 1901, 4; LIV, 1902, 1.
—— Gesellschaft für Erdkunde. Zeitschrift; 1902, 4–6.
* —— Kalender für Geologen, Palaeontologen und Mineralogen, herausgegeben von Dr. P. Krusch. 5 Jahrgang, 1902.
—— Laboratorium & Museum. W. Junk. III, 1.
—— Naturæ Novitates. 1902, 9–16.
* —— Zeitschrift für Praktische Geologie. X, 1902, 6–8.
***Boston.**—American Academy of Arts and Sciences. Proceedings. Vols. IX–XXVIII & XXXIII.
—— " " " " XXXVII, 18–23.
Bourg.—Société des Sciences Naturelles et d'Archéologie de l'Ain. Bulletin, n. 27 & 28.
Bruxelles.—Société Belge de Géologie, de Paléontologie et d'Hydrologie. Bulletin, XII, 4; XVI, 2 & 3.
—— Société Royale Belge de Géographie. Bulletin, 1902, 1–3.
—— Société Royale Linnéenne de Bruxelles. Bulletin, 1902, 8.
Bucuresti.—Societatea Geografica Romînă. Buletin, 1902, I.
Cairo.—Geological Survey. A Preliminary Investigation of the Soil and Water of the Fayum Province by A. Lucas.—The desintegration of building stones in Egypt.—Some new Mammals from the upper Eocene of Egypt. 1902.
Cambridge, Mass.—Museum of Comparative Zoölogy at Harvard College.—Bulletin, XL, 2; XLI, 1.
Cambridge.—Philosophical Society. Proceedings, XI, 6.
Campeche.—Memoria del Gobierno del Estado, 1862.—Informes, 1898, 1899 y 1902.—Censo de 1895.
Catania.—Accademia Gioenia di Scienze Naturali. Bollettino delle sedute. Aprile 1902.
Chalons-sur-Saone.—Société des Sciences Naturelles de Saone-et-Loire. Bulletin; 1902, 1–5.
Chicago.—Field Columbian Museum. Publication 64. Geological Series, I, n. 11 (Meteorite Studies. I. By. O. C. Farrington).
* —— The Journal of Geology. X, 4–6.
Chihuahua.—Memoria del Gobierno del Estado, 1900.
Chilpancingo.—Memorias del Gobierno del Estado, 1872, 1879, 1883, 1886, 1888, 1896 y 1900.
Christiania.—Videnskabs-Selskabet (Société des Sciences). Skrifter (Math.-nat. Klasse), 1901.—Forhandlinger, 1901.
Chur.—Naturforschende Gesellschaft Graubündens. Jahresbericht, XLV, 1901–1902.

Cincinnati.—Cincinnati Museum Association. 21st Annual Report, 1901.
Ciudad Victoria.—Memorias del Gobierno del Estado, 1888, 1890 y 1891–93.
Colima.—Memorias del Gobierno del Estado, 1888, 1889, 1890, 1891, 1892 y 1895.
Columbia, Mo.—The University of Missouri Studies. I, 3.
Davenport.—Davenport Academy. Proceedings, VIII, 1900.
Durango.—Memorias del Gobierno del Estado. 1867, 1873, 1886, 1892, 1896, 1898 y 1900.
Francfort a. O.—Naturwissenschaftliche Verein. Helios, 19 Bd.
Fribourg.—Société Fribourgeoise des Sciences Naturelles. Bulletin, 1900–1901.—Mémoires; II, 1.
Giessen.—Oberhessische Gesellschaft für Natur-und Heilkunde. 33 Bericht, 1899–1902.
Gotha.—Justhus Perthes' Geographischer Anstalt. Dr. A. Petermanns Mitteilungen, 1902; 6–9.
Granville.—Scientific Laboratories of Denison University. Bulletin, XI, 11, XII, 1.
Groningen.—Natuurkundig Genootschap. 101 Verslag. 1901.
Güstrow.—Vereins der Freunde der Naturgeschichte in Mecklenburg. Archiv. 1901, II. 1902, I.
Haarlem.—Musée Teyler. Archives, Série II. Vol. VIII, 1.
Habana.—Academia de Ciencias. Anales. XXXVIII, Mayo á Dic. 1901.
Hamilton.—Hamilton Scientific Association. Journal and Proceedings. 1900–1901, 17.
Helsingfors.—Geologiska Kommissionen. Carte Géologique à 1:400000. Sect. C 2, St. Michel.—Industristyrelsen, nos. 32 & 33.—Bulletin, 12 & 13.
Hermosillo.—Memoria del Gobierno del Estado. 1891. 2 t.
Hildesheim.—Roemer-Museum. Bericht, 1899–1901.—Begleitworte zur Geweih-und Gehörn-Sammlung. Von Dr. A. Andreae.
Hobart.—Report on the Coal Field in the Neighbourhood of Recherche Bay, by W. H. Twelvetrees, Gov. Geologist.—The progress of the mineral industry of Tasmania, Dec. 1901, March 1902.
Honolulu.—Bernice Panahi Bishop Museum of Polynesian Ethnology and Natural History. Ocasional Papers. I; 5, 1902.
Houghton.—Michigan College of Mines. Year-book, 1901–1902.
Jalapa.—Memorias del Gobierno del Estado. 1873, 1884, 1888, 1890, 1894, 1896 y 1898.
Kassel.—Verein für Naturkunde. Abhandlungen und Bericht, XLVII, 1901–1902.
Knoxville.—University of Tennessee. Index. Serie III, 7.
Königsberg.—Physikalisch-Oekonomische Gesellschaft. Schriften. XLII, 1901.
Lausanne.—Société Vaudoise des Sciences Naturelles. Bulletin, no. 144.
Lawrence.—Kansas University Quarterly. X, 4.
Leiden.—Rijks Geologisch-Mineralogisch Museum. Sammlungen. VI, 2–5.
***Leipzig.**—Geologisches Centralblatt. II; 1902, 12–20.
—— Verein für Erdkunde. Mitteilungen, 1901.
Liége.—Société Géologique de Belgique. Annales, XXIX, 2 & 3.
Lima.—Dirección de Fomento. Sección de Minas. Año VI. 2º sem. 1901.
—— Revista de Ciencias. Año V, 2–10.
—— Sociedad Geográfica. Boletín. XI, 3º y 4º trim.
Lincoln.—University of Nebraska. The Graduate Bulletin. Series VI, 3.—I, 1 & 3.
Lisbonne.—Commission du Service Géologique du Portugal. Recueil d'études paléontologiques sur la Faune Crétacée. I. Especes nouvelles par P. Choffat. 3e et 4e séries.
***London.**—The Geological Magazine. 1901, 447–450. 1902, 451–460.
* —— Geologists' Association. Proceedings. XVII, 5 & 6.
Lyon.—Académie des Sciences. Mémoires, X.
—— Société d'Agriculture, Sciences et Industrie. Annales, 7e série, VII–VIII, 1899–1900.
Macon.—Académie de Macon. Annales. 3e série, V.
Madrid.—Comisión del Mapa Geológico de España. Memorias. Explicación del Mapa Geológico por L. Mallada, I–IV.—Boletín, XXVI.
Manchester.—Literary and Philosophical Society. Memoirs and Proceedings. Vol. 46, 6.
—— Manchester Museum, Owens College. Notes, no. 8.—Report, 1901–1902.
Marburg.—Gesellschaft zur Beförderung der gesammten Naturwissenschaften. Sitzungsberichte, 1901.

Melbourne.—Royal Society of Victoria. Proceedings. New Series. XV, 1.
Mérida.—Boletín de Estadística. VIII, 1901. IX, 1902, 1–26.
México.—Ayuntamiento Constitucional. Boletín Municipal. 1902.—Memorias, 1889–1901.
—— Dirección General de Correos. Cartas Postales. Julio 1901.—Noticia del movimiento probable de vapores, Julio á Oct. 1902.
—— Comisión para el estudio de abastecimiento de aguas de la ciudad de México. Informe sobre el proyecto del Ing. M. Marroquín y Rivera. Estudio sobre las proposiciones de Mackenzie. 1902.
—— Dirección de Estadística. Anuario, VI y VIII.—Boletín demográfico, 1 á 4.—Censos del Distrito Federal y de los Estados de Aguascalientes, Durango, México, Morelos y Sonora.—Cuadro Sinóptico.—División territorial.—División Municipal.
—— Instituto Médico Nacional. Anales, V, 3–5.
—— Junta Directiva del Desagüe. Memoria Histórica, Técnica y Administrativa del Desagüe del Valle de México, 1449–1900. México, 1902. 2 t. y Atlas.
—— El Minero Mexicano. XL, 26.—XLI, 1–17.
—— Museo Nacional. Anales, VII, 9 y 10.
—— Observatorio Meteorológico Central. Boletín mensual; 1901, Ag.–Oct.–Cartas del tiempo; Jul. á Oct. 1902.
—— Secretaría de Fomento. Boletín, 2ª época. Año II, 1–3.—Cuadro Estadístico de la Minería del Estado de Oaxaca por M. Martínez Gracida y C. D. Vázquez. 1884.—El Economista Mexicano, XXIV, 13–26. XXV, 1–4.—Boletín de la Sociedad Agrícola Mexicana. XXVI, 27–36.—Memoria, 1865.—Memoria de la Sección Mexicana de la Comisión Internacional de Límites entre México y los Estados Unidos que restableció los monumentos de El Paso al Pacífico. 2 t. y Atlas.—Informes del Director del Observatorio Astronómico Nacional, Julio 1899 á Dic. 1901.—Revista Agrícola, XVII, 19–22.—La Semana Mercantil; XVIII, 24–30 y 32–43.
—— Secretaría de Hacienda. Boletín de Estadística Fiscal. 1900–1901.—Enero á Mayo 1902. —1er. semestre 1901–1902.
—— Sociedad Científica «Antonio Alzate.» Memorias y Revista. XIII, 3 y 4.—XVII, 3–6.—Actas y Resoluciones del 2º Congreso Meteorológico Nacional. Diciembre 1901.
Milwaukee.—Wisconsin Natural History Society. Bulletin, II, 3.
***Minneapolis.**—The American Geologist. I–III; XXIX, XXX, 1–4.
Monterrey.—Memorias del Gobierno del Estado, 1891, 1895 y 1899.
Montpellier.—Académie des Sciences. Catalogue de la Bibliothèque par E. Bonnet. 1re. partie 1901.
Morelia.—Memorias del Gobierno del Estado. 1883, 1884, 1886, 1887, 1889, 1890, 1892, y 1892–94.
Nantes.—Société Académique. Annales. 8e série, II, 1901.
—— Société des Sciences Naturelles de l'Ouest de la France. Bulletin, 2e série. II, 1.
Napoli.—Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche. Atti. Serie 2, X.—Rendiconto; 1901, 1–12. 1902, 1–7.
Neuchatel.—Société Neuchateloise de Géographie. Bulletin. XIV, 1902–1903.
—— Société Neuchateloise des Sciences Naturelles. Bulletin. XXVII, 1898–99.
Newcastle-upon-Tyne.—North of England Institute of Mining and Mechanical Engineers. Transactions, LI, 3 & 4.—Subject Matter Index of Mining, Mechanical and Metallurgical Literature. 1900.
***New Haven.**—The American Journal of Science. Jan.–Oct. 1902.
New York.—American Museum of Natural History. Annual Report, 1901.—Bulletin, XVII, 2.
* —— Science. 1902, nos. 390–408.
* —— The Engineering and Mining Journal. LXXIII, 25 & 26. LXXIV, 1–15.
* —— The Mineral Industry. Its Statistics, Technology and Trade in the United States and other countries to the end of 1901.
Novo-Alexandria.—Annuaire Géologique et Minéralogique de la Russie. V, 4 & 5. VI, 1.
Oaxaca.—Memorias del Gobierno del Estado. 1895, 1897, 1898, 1999, 1900 y 1901.

Ottawa.—Geological Survey of Canada. Annual Report, IV–XI.—Contributions to Canadian Paleontology; I, 4 & 5, II, 1 & 2; III, 1, IV, 1 & 2.
Pará.—Museu Paraense di Historia Natural e Ethnographia. Boletim, III, 2.
*__Paris.__—Annales des Mines. 1902, 4–7.
—— Feuille des Jeunes Naturalistes. 1902, 381–384.
—— Musée d'Histoire Naturelle. Bulletin. 1901, 7 & 8. 1902, 1–4.
* —— Revue Générale des Sciences pures et appliquées. 1902, 1–18.
* —— Services de la Carte Géologique de la France et des Topographies souterraines. Bulletin, XII, 86 & 87. XIII.
* —— Société Géologique de France. Bulletin, 4e série, I, 1901, 5.
Paterson.—New Jersey Historical Society. Proceedings, III, 1.
Perth.—Supplement to Government Gazette of Western Australia. 1901, 26–28; 1902, 29–34.
—— Geological Survey. Bulletin, 6.
*__Philadelphia.__—Academy of Natural Sciences. Proceedings, 1841–1891.
—— American Philosophical Society. Proceedings. XLI, 1902, 169 & 170.
—— Franklin Institute. Journal. 1902, Sept. & Oct.
Porto.—Annaes de Sciencias Naturaes publicados por Augusto Nobre. VII, 1901.
Prag.—Deutschen Naturwissenschaftlich medicinischen Vereines für Böhmen «Lotos.» Abhandlungen, II, 3 & 4.—Sitzungsberichte, XX & XXI, 1900 & 1901.
—— K. Böhm. Gesellschaft der Wissenschaften. Jahresbericht, 1901.—Sitzungsberichte (Nath.-math. Classe), 1901.
*__Princeton, N. J.__—Princeton University. J. Pierpont Morgan Publication Fund. Report of the Princeton University Expeditions to Patagonia. 1896–1899. Vol. IV, Palaeontology. Parts I & II. 1901 & 1902.
Puebla.—Observatorio Meteorológico del Colegio del Estado. Boletín mensual. Jun.–Ag. 1902.
*__Québec.__—Le Naturaliste Canadien. I–XXVI.
—— Le Naturaliste Canadian. XXIX, 5–9.
—— Université Laval. Annuaire, 1902–1903.
Querétaro.—Memorias del Gobierno del Estado. 1879, 1882, 1887, 1891 y 1898.
Quito.—Universidad Central. Anales, XVI, 116–118. 1902.
Roma.—R. Comitato Geologico d'Italia. Bollettino. 1900, 1901, 1902, 1 & 2.
—— Società Geologica Italiana. Bollettino. XX, 1901.
Saint Pétersbourg.—Comité Géologique Mémoires. IX, 4 & 5.—Explorations géologiques dans les régions aurifères de la Sibérie. Iénissei, 1 & 2. Léna, 1. Amour, 1 & 2.
—— Académie des Sciences. Bulletin, XIII, 1900, 4 & 5. XIV & XV, 1901. XVI, 1902, 1–3.—Catalogue de la Bibliothèque. Publications en russe.
Saltillo.—Memorias de Hacienda del Gobierno del Estado. 1899–900 y 1900–901.
San Juan Bautista.—Memorias del Gobierno del Estado. 1890 y 1900.
San Luis Potosí.—Memorias del Gobierno del Estado. 1874 y 1899.
Santiago.—Société Scientifique du Chili. Actes. XI, 1901, 4 & 5.
Siena.—Rivista Italiana di Scienze Naturali. 1902, 3–6.—Bollettino del Naturalista. XXII, 3–7.
Singapore.—Straits Branch of the R. Asiatic Society. Journal. Nos. 36 & 37, Jul. 1901 & Jan. 1902.
Solothurn.—Naturforschende Gesellschaft. Mitteilungen, XIII.—Bericht, 1 heft.
Springfield.—Museum of Natural History. Report, May 1901 & 1902.
Stafford.—North Staffordshire Field Club. Annual Report and Transactions. XXXVI, 1901–1902.
Stockholm.—Geologiska Föreningens. Förhandlinger. No. 215 (Maj 1902, Bd. 24, heft 5).
*__Stuttgart.__—Centralblatt für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie. 1902, 12–18.
* —— Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Palaeontologie. 1902, II, 1 & 2.—Beilage Band, XV, 2.
* —— Palaeontographica. XLIX, 2.
Sydney.—Geological Survey of New South Wales. Handbook to the Mining and Geological Museum by G. W. Card. 1902.—Records, VII, part. II.

Sidney.—Linnean Society of N. S. W. Proceedings, 104.
Tokyo.—Geographical Society. Journal. XIV, 1902, 157-162.
—— Geological Survey. Higashiyama Oil Field, Echigo.
—— Imperial Earthquake Investigation Committee. Publications, 1902, 8 & 9.
Toluca.—Instituto Científico y Literario. Boletín, V, 4-7.
—— Revista Científica y Boletín Meteorológico, V, 4-6.
***Toronto.**—Canadian Institute. Transactions, I-III, IV, 1.
—— Bureau of Mines. Report, XI, 1902.
Toulouse.—Société d'Agriculture de la Haute-Garonne. Journal d'Agriculture pratique. Mai à Juin 1902.
Trenton.—Geological Survey of New Jersey. Annual Report of the State Geologist. 1884-1894 & 1901.—Final Report, II (1 & 2), III & IV.
Trencsén.—Naturwissenschaftliche Verein des Trencsiner Comitates. Jahreshefte. XXIII-XXIV 1900-1901.
Vermilion.—South Dakota Geological Survey. Bulletin, 3.
Victoria, B. C.—Annual Report of the Minister of Mines. 1901.
Washington.—Biological Society. Proceedings, XV, pp. 121-211.
—— Georgetown University. A Catalogue of the Officers and Students. 1901-1902.
—— Smithsonian Institution. Annual Report, 1895-1900.
—— U. S. Geological Survey. 21st Annual Report, parts V & VII.—The Geological and Mineral Resources of the Copper River District, Alaska.—Reconnaissances in the Cape Nome and Norton Bay Regions, Alaska, in 1900.—Bulletins, 179, 182, 188, 189, 190, 192, 193 & 194.—Monographs, XLI.
—— U. S. National Museum. Separates of Bulletins, Proceedings and Reports.
Wien.—K. K. Geologische Reichanstalt. Jahrbuch. LI, 1901. LII, 1902, 1.—Verhandlungen, 1902, 7-10.
—— K. K. Naturhistorische Hofmuseum. Annalen. XV, 3 & 4. XVI, 1-4.
—— K. K. Geologische Reichanstalt.—Verhandlungen, 1887-1891 & 1894.—Register, 1871-1880. (*Dr. E. Böse*).
Zacatecas.—Memorias del Gobierno del Estado. 1870, 1871, 1874, 1889, 1892 y 1897.

L'Institut Géologique National du Mexique *recevra avec grand intérêt les publications concernant la Géologie, la Géographie physique et l'Histoire Naturelle en général, en échange de son* BULLETIN *qui se publie par cahiers in 4º avec figures et planches. Le numéro 1 de ce recueil a paru en 1895 avec le titre de* BOLETÍN DE LA COMISIÓN GEOLÓGICA DE MÉXICO.

L'Institut vient d'être installé définitivement dans son nouveau bâtiment 5ª DEL CIPRÉS NÚM. 2728; *on est prié de vouloir bien prendre note de sa nouvelle adresse, et aussi de son indépendance absolue de l'École des Ingénieurs dont il a reçu autrefois une gracieuse hospitalité.*

Adresse:

Instituto Geológico de México.
5ª del Ciprés, núm. 2728.

MEXICO, D. F.

MEXIQUE.

Amérique du Nord.

On est prié instamment d'accuser réception. Dans le cas où cette formalité aurait été négligée, on serait considéré comme ne désirant plus continuer à recevoir les publications de l'Institut Géologique du Mexique.






SMITHSONIAN INSTITUTION LIBRARIES
3 9088 01224 2418